PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

No. 1. 1. Januar 1907. 8. Jahrgang.

Redaktionsschluß für No. 2 am 9. Januar 1907.

INHALT.

Originalmitteilungen:

H. W. Schmidt, Radioaktivitätsmessungen in St.-Joachimsthal. S. 1.

K. E. F. Schmidt, Versuche über gerichtete drahtlose Telegraphie. S. 5.

M. Wien, Über die Abstimmung funkentelegraphischer Sender. S. 10.

A. Korn, Ein Lichtrelais. S. 18.

A. Korn, Der Selenkompensator und seine elementare Theorie. S. 19.

C. F. Lorenz, Über Wirkungen der elektrischen Entladung auf die Acetylenflamme. S. 20.

Vorträge und Diskussionen von der 78. Naturforscherversammlung zu Stuttgart:

L. Prandtl, Neue Untersuchungen über die strömende Bewegung der Gase und Dämpfe. S. 23.

M. Wien u. J. Zenneck, Spektralaufnahmen mit Teleobjektiv. S. 30.

Besprechungen:

W. Müller, Instrumentenkunde für Forschungsreisende. S. 32.

Meteorologische Zeitschrift. Hannband. S. 32.

Briefkasten. S. 32.

Tagesereignisse. S. 32.

Personalien. S. 32.

Gesuche. S. 32.

ORIGINALMITTEILUNGEN.

Radioaktivitätsmessungen in St.-Joachimsthal.

Von Heinrich Willy Schmidt.

Die Nähe meines diesjährigen Sommeraufenthalts von St.-Joachimsthal i. B. veranlaßte mich zu einem kurzen Ausflug am 24. und 25. August in das alte Bergstädtchen zum Besuch der dortigen Uranbergwerke.[1]) Ich habe bei dieser Gelegenheit mit dem in dieser Zeitschrift beschriebenen transportablen Blattelektrometer[2]) einige Zerstreuungsmessungen ausgeführt, die vielleicht als eine Ergänzung zu Untersuchungen ähnlichen Charakters dienen können.

Wie zur Orientierung vorausgeschickt werden soll, wird der Abbau auf Uranpechern in zwei Bergwerken getrieben, der staatlichen „Westlichen Grube“ (Belegschaft 100 Mann) und dem in Privatbesitz befindlichen „Sächsisch-Edelleutstollen“ (Belegschaft 60 Mann). In beiden Betrieben führt zunächst ein langer Horizontalstollen in den Berg hinein. Im staatlichen Bergwerk wird zur Verbindung der ca. 200 bis 300 m tiefer liegenden Abbaustellen ein im „Wernerschacht“ gehender Fahrstuhl benutzt. Im andern Bergwerk verzweigt sich der Horizontalstollen in viele einzelne Gänge, von denen aus man auf Leitern an die bis zu 60 m höher oder tiefer gelegenen Arbeitsplätze der Häuer gelangt. Die Luftzirkulation wird in der „Westlichen Grube“ durch den von der Sohle des Bergwerks nach St.-Joachimsthal zu führenden Danieli-Stollen (Wasserauslaßstollen), im „Edelleutstollen“ durch Vertikalschächte unterhalten. Sie ist in beiden Fällen eine natürliche, d. h. die gesunde Luft durchzieht in der Richtung von unten nach oben, ohne Anwendung künstlicher Hilfsmittel, das Bergwerk. In der „Westlichen Grube“ z. B. zieht die Luft vom Tage aus durch den Danielistollen ein und nach Passieren sämtlicher Grubenräume durch den Wernerschacht und Wassereinlaßstollen (Einfahrtsstollen) wieder aus (vergl. Fig. 1). Die

Fig. 1.

Erwähnung dieser Verhältnisse ist zum Verständnis der gefundenen Resultate erforderlich.

Das Erz tritt im Urgestein (Glimmerschiefer) in Gangform auf, stets von Dolomit begleitet. Die schematische Abbildung eines charakteristischen Handstückes, das mir freundlichst von der Verwaltung des „Edelleutstollens“ überlassen wurde, ist in Figur 2 gegeben. Mit dem

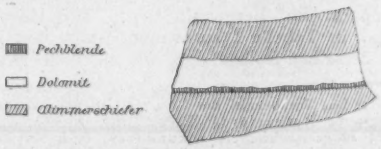


Fig. 2.

1) Die Anregung zu diesen Untersuchungen verdanke ich meinem verehrten Chef, Herrn Prof. Dr. W. König, der mich von Karlsbad aus auf die leichte Erreichbarkeit St.-Joachimsthals aufmerksam machte und einen Teil der Versuche gemeinsam mit mir durchführte. Herrn k. k. Oberbergverwalter Jos. Štěp bin ich für seine liebenswürdige Führung und die wertvollen Angaben über geologische und bergmännische Verhältnisse zu besonderem Danke verpflichtet. Auch dem Direktor des „Sächsisch-Edelleutstollens“, Herrn Herm. Schreiber, spreche ich an dieser Stelle meinen Dank für das mir bewiesene Entgegenkommen aus.

2) H. W. Schmidt, diese Zeitschr. **6**, 561, 1905 und H. W. Schmidt u. K. Kurz, diese Zeitschr. **7**, 209, 1906.

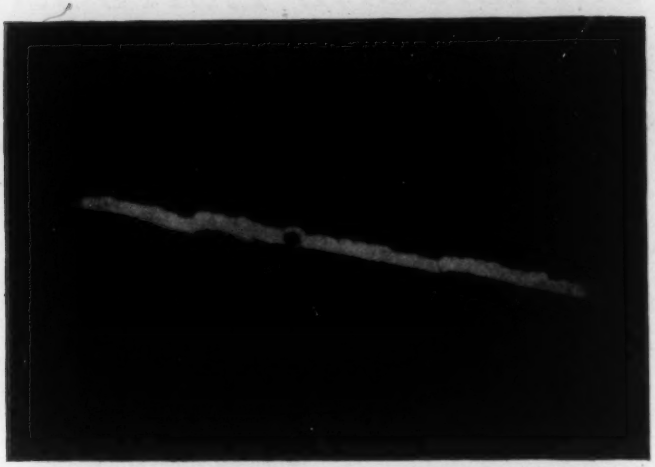


Fig. 3.

gleichen Stück konnte direkt eine photographische Aufnahme gemacht werden (vgl. Fig. 3). Zu diesem Zwecke war an den Stein eine ebene Fläche angeschliffen und diese $1\,^1/_2$ Tage lang mit der Schichtseite einer photographischen Platte in Berührung gebracht worden. Man sieht, daß sich nur das schmale Pecherzband abgebildet hat. An einer Stelle ist deutlich ein kleines eingesprengtes Dolomitstückchen zu erkennen. Außerdem haben die Ränder des Bildes unverkennbar die traubige Gestalt, die das Erz meistens an der Grenze gegen das andere Gangmaterial zeigt. Selten sind freilich die Gänge so regelmäßig gebildet, wie bei dem beschriebenen Handstück, bei dem wir scharf die Grenzen zwischen Glimmerschiefer, Dolomit und Pechblende unterscheiden können. Oft ist die Gangfüllung ein Durcheinander von feinen Erzadern und Dolomit- und Glimmerschieferstücken. Fig. 4 gibt uns die direkte photographische Aufnahme eines abgeschliffenen Steinstücks, das auf dieselbe Weise wie Fig. 3 hergestellt ist.[1])

Bei den in St.-Joachimsthal gemachten Beobachtungen wurde zunächst in der „Westlichen Grube" an verschiedenen Stellen die natürliche Zerstreuung des Elektrometers bestimmt, also die Zerstreuung, die der völlig geschlossene Apparat im Bergwerk zeigt. Die Resultate sind in Tabelle I zusammengestellt und zwar in derselben Reihenfolge, wie sie beim allmählich tieferen Eindringen ins Bergwerk gefunden wurden.

Tabelle I.

Ort	Natürliche Zerstreuung in Millivolt/sec.
Vorher in Dresden und hinterher in Zwickau	0,45
ca. 100 m vom Eingang am Kreuz des Roten Ganges mit Wassereinlaßstollen	56
Danielistollen, 302 m unter Tagkranz des Wernerschachts; Kreuz des Querschlages mit Geistergang	114
desgl.; Querschlag zwischen Geisterhauptgang und Geisterliegendgang	122
desgl.; unbenannter Gang	128
desgl.; Roter Gang (Putzenwacke [1]) mit anstehendem Uran)	208

1) Putzenwacke ist ein basaltischer Brockentuff, der wahrscheinlich, wie die Gangfüllung, jünger als das Urgestein ist. Ob seine Entstehung mit der des Uranerzes in Zusammenhang steht, ist eine offene Frage. — Ich habe hier im Institut die Aktivität der fein gepulverten Putzenwacke bestimmt und fand sie, auf gleiche Gewichtsmengen bezogen, $2{,}7 \cdot 10^{-3}$ mal so groß, als die von fein gepulverter bester Pechblende. Nimmt man mit R. J. Strutt (Proc. Roy. Soc. **77**, 472, 1906) an, daß auf ein Gramm Pechblende $7{,}4 \cdot 0{,}64 \cdot 10^{-7}$ Gramm Radium kommen, so ist in einem Gramm Putzenwacke $7{,}4 \cdot 0{,}64 \cdot 2{,}7 \cdot 10^{-12} = \text{ca. } 12 \cdot 10^{-12}$ Gramm Radium enthalten. Strutt fand für die aktivsten der von ihm untersuchten Eruptivgesteine ca. $10 \cdot 10^{-12}$ Gramm Radium pro Gramm Substanz. Wenn die hier nach einer nicht übermäßig genauen Methode gemachten Untersuchungen auch nur die Größenordnung des Radiumgehalts erkennen lassen, so wird man immerhin behaupten dürfen, daß die in unmittelbarer Nähe der Pechblende anstehenden Felsgesteine nicht aktiver sind, als Felsgesteine sonst auf der Erde. Dasselbe ist übrigens auch schon von Strutt selbst (l. c.) in einem bestimmten Fall festgestellt worden.

1) Das Vorkommen des Uranerzes ist, um die Bezeichnungsweise Rutherfords (Radioactivity, 2. Aufl., Anh. B, 1905) zu gebrauchen, ein sekundäres, d. h. das Erz ist nicht ein primärer Bestandteil des Urgesteins, sondern durch sekundäre Vorgänge in die Gänge gebracht worden.

Fig. 4.

Zunächst ersehen wir aus Tabelle I, daß die „natürliche Zerstreuung" — soweit man überhaupt von einer solchen noch reden kann — ca. 100 bis 400mal so groß ist als unter gewöhnlichen Verhältnissen. Und dabei sind die hier eigentlich wirksamen Strahlen die schwach ionisierenden β- und γ-Strahlen, die durch die 1 bis 2 mm starke Metallwand des Apparats hindurchgedrungen sind. Freilich ist der untere Teil des Apparats nicht völlig luftdicht konstruiert. Mit der Zeit wird deshalb durch die engen Fugen etwas Emanation eingedrungen sein und die Zerstreuung des Apparats erhöht haben. Immerhin darf wohl die Zunahme, die sich beim tieferen Eindringen in das Bergwerk ergab, zum größten Teil durch das Näherkommen an die uranführenden Gesteine und durch Aktivierung der äußeren Gefäßwände erklärt werden. Daß bereits 100 Meter vom Eingang die natürliche Zerstreuung einen so hohen Betrag hat, ist durch die im Bergwerk herrschende Luftzirkulation (Wetter) zu erklären. Durch diese wird die eigentliche Grubenluft zum Einfahrtsstollen geführt. Deshalb muß am Eingang die Luft stark emanationshaltig und das anstehende Gestein mit aktiver Materie bedeckt sein.

An derselben Stelle, wo die letzte Messung der Tabelle I gemacht war und wo, wie beiläufig erwähnt werden soll, ein Sidotblendeschirm, frei in der Luft gehalten, szintillierte und fluoreszierte, haben wir Grubenluft direkt in das vorher geschlossene Zerstreuungsgefäß unseres Apparats eingeblasen. Dadurch stieg die Zerstreuung um ca. das Zehnfache, nämlich von 208 auf 1900 Millivolt pro Sek.; der ganze Meßbereich des Apparats (ca. 29 Volt) wurde jetzt vom Blättchen in 15 Sek. durchwandert.

Mit dieser Beobachtung mußten wir unsere Untersuchungen im Bergwerk selbst abbrechen, weil der Apparat durch den entstandenen aktiven Niederschlag für einige Stunden unbrauchbar geworden war. Er wurde gleich nach Verlassen des Bergwerks auseinander genommen, gelüftet und, soweit das möglich war, mit einem großen Leinenlappen abgeputzt. Immerhin war die induzierte Aktivität so stark, daß sie noch nach vier Stunden eine Zerstreuung von 3,0 Millivolt/sec verursachte. Sie klang genau wie der aus Radiumemanation entstehende Niederschlag ab.

Weiterhin wurde der Emanationsgehalt von Grubenluft und Grubenwasser aus beiden Bergwerken bestimmt. Die Luft war im Bergwerk in die zum Apparat gehörige Schüttelflasche (Blechflasche mit zwei Hähnen), das Wasser in gut schließende Glasflaschen eingefüllt. Die Beobachtungen wurden zum Teil in St.-Joachimsthal selbst, zum Teil in einem unmittelbar am Edelleutstollen gelegenen Wohnhaus ausgeführt und zwar nach der Methode, die in dieser Zeitschrift beschrieben ist. Es wurde also Grubenluft bezw. gewöhnliche Luft, die mit emanationshaltigem Wasser durchgeschüttelt war, mit Hilfe eines Zirkulationsgebläses in das Untersuchungsgefäß eingeblasen und die Zerstreuung einige Zeit verfolgt. Die Resultate sind in Tabelle II vereinigt.

An erster Stelle der Tabelle II steht zum Vergleich der vorhin im Bergwerk selbst gefundene Wert der Zerstreuung von Grubenluft; vom ursprünglichen Wert 1900 ist der Betrag

Tabelle II.

Emanationsgehalt von Grubenluft und Grubenwasser.

Entnahmestelle und Probe	Untersuchungsstelle	Zerstreuung in Millivolt pro sec	Zerstreuung in 10^{-3} E.S.E.
Westliche Grube, Roter Gang, Luft	Bergwerk	1690	
„ „ „ „ „	St.-Joachimsthal	1600	119
Westliche Grube, Roter Gang, Wasser aus Urangang	„	7000	2050
Sächsisch-Edelleutstollen „Hülfe Gottesgang", Stollensohle, Luft	Wohnhaus in der Nähe des Edelleutstollens	55	5.0
Sächsisch-Edelleutstollen, Gang Glückauf, Wasser		182	53.4
„ „ Zeidlergang, „		140	41,0

der „natürlichen Zerstreuung" 208 in Abzug gebracht. — Bei den Versuchen mit Wasser war, genau wie bei meinen früheren Untersuchungen (l. c.), aus dem allmählichen Anwachsen der Zerstreuung im Apparat die von der Radiumemanation allein herrührende Zerstreuung berechnet (Kolumne 3; „Millivolt pro Sekunde") und hieraus der Sättigungsstrom, den die gesamte in einem Liter Grubenwasser enthaltene Emanation in einem sehr großen Gefäß zu unterhalten imstande ist. (Kolumne 4; „10^{-3} E.S.E.")[1]) Die drei Versuche mit Grubenluft waren insofern merkwürdig, als die Zerstreuung im Untersuchungsgefäß anfänglich nicht anstieg, sondern innerhalb der Beobachtungszeit (ungefähr 10 Minuten) konstant blieb. Zufällige Störungen haben hier kaum mitgespielt, da dasselbe gelegentlich im Laboratorium an emanationshaltiger Luft beobachtet war, die einige Zeit hindurch ruhig gestanden hatte. Zu erklären ist die Erscheinung wohl dadurch, daß die Luft durch Staubteilchen (vielleicht Rauch, der von Sprengungen herrührte) verunreinigt war und daß mit diesen Staubteilchen zusammen die Zerfallsprodukte der Emanation in das Untersuchungsgefäß eingeführt wurden. Nach Ausblasen der emanationshaltigen Luft blieb übrigens auf den inneren Wänden des Untersuchungsgefäßes eine starke induzierte Aktivität zurück, deren Abklingen einige Zeitlang verfolgt wurde. Die Abklingungskurven schlossen sich den für die Zerfallsprodukte von Radium gefundenen sehr gut an. Der aus diesen Kurven extrapolierte Wert der Zerstreuung für den Moment des Ausblasens wurde von der vorher gemessenen Gesamtaktivität abgezogen, um die von der Emanation verursachte Zerstreuung für sich zu erhalten. Mit Hilfe dieses korrigierten Wertes wurde die Umrechnung in absolute Stromeinheiten (Kolumne 4) vorgenommen, die sich, wie bei den Beobachtungen mit Wasser, auf den Emanationsgehalt eines Liters Grubenluft beziehen. Die für Wasser und Luft gefundenen absoluten Werte sind also direkt miteinander zu vergleichen. Dagegen steht in Kolumne 3 bei den Luftproben die Zerstreuung wie sie direkt beobachtet wurde[1]), die Werte sind also unter sich, aber nicht mit den für Wasser gefundenen Werten vergleichbar.

Beim Betrachten der Tabelle II ersieht man zunächst aus den beiden ersten Zeilen, daß für den Emanationsgehalt von Luft aus dem „Roten Gang" im Bergwerke selbst und draußen fast dieselben Werte gefunden wurden. Wenn wir sonst die Resultate der Tabelle II miteinander vergleichen, so fällt uns auf, daß der Emanationsgehalt von Luft und Wasser in der „Westlichen Grube" viel größer ist, als im „Edelleutstollen". Wir dürfen aus diesen Beobachtungen aber durchaus nicht schließen, daß im erstgenannten Bergwerk reichere Erzlager anstehen. Denn in der „Westlichen Grube" ist die Luft eines abgelegenen Ganges untersucht, in dem die Pechblende direkt ansteht und in dem sich wegen der geringen Luftzirkulation die Emanation anreichern kann. Im „Edelleutstollen" dagegen wurde absichtlich eine Stelle gewählt, bei der auf ziemliche Entfernung hin kein Erz ansteht und an die durch die Luftzirkulation stets frische Luft durch den Eingangsstollen geführt wird. Das Wasser im „Roten Gang" tropft direkt aus einer Erzader aus, während die im „Edelleutstollen" entnommenen Proben aus dem Schiefer herauskommen. Wasser hat übrigens in beiden Bergwerken einen stärkeren absoluten Emanationsgehalt als Luft: ein Beweis, daß sich die Emanation — wie eigentlich nicht anders zu erwarten ist — noch nicht auf Wasser und Luft nach dem Henry-Daltonschen Gesetz verteilt hat.

1) Die Wasserproben waren wegen ihres starken Emanationsgehaltes meistens vor der Untersuchung mit inaktivem Leitungswasser verdünnt. Doch ist in Zeile 2 der Tabelle II stets die Zerstreuung angegeben, die 740 ccm — das bei den früheren Wasseruntersuchungen benutzte Quantum — im Apparat verursachen würde. Wie die Umrechnung in absolute Stromeinheiten durchgeführt wird, ist in dieser Zeitschrift 7, 215, 1906 in Anschluß an Tabelle II näher auseinandergesetzt. Kapazität und Größe des Zerstreuungsgefäßes sind gegen die früheren Untersuchungen etwas verändert.

1) Eine kleine Korrektion hat an den außerhalb des Bergwerks gemachten Beobachtungen angebracht werden müssen, weil die Grubenluft beim Einblasen in das Zerstreuungsgefäß durch die in den Apparatteilen befindliche inaktive Luft etwas verdünnt wurde.

Mache und Meyer[1]) fanden in der „Westlichen Grube" bei drei Wasserproben:

$33{,}0 \cdot 10^{-3}$ E.S.E. bei 60 m Tiefe
$49{,}5 \cdot 10^{-3}$ „ „ 266 m „
$185{,}0 \cdot 10^{-3}$ „ „ 375 m „

Die Werte sind von gleicher Größenordnung wie die im „Edelleutstollen", dagegen kleiner, als der im „Roten Gang" gefundene. Das ist aber auch weiter nicht zu verwundern, da das letztgenannte Wasser direkt aus einem Urangang austritt.[2])

Der Emanationsgehalt dieses Grubenwassers ist außerordentlich stark und ungefähr hundertmal so groß, als von verhältnismäßig stark aktiven Quellen der hiesigen Gegend (Mitteldeutschland), z. B. ist das Wasser 120mal so aktiv, als das der Oranienquelle in Kreuznach ($17{,}4 \cdot 10^{-3}$ E.S.E.). Diese Quelle liefert in der Stunde 100 Hektoliter, also in der Minute ca. 1700 Liter, während aus dem Urangang in der Minute ca. 2 Liter, also 135mal weniger ausströmt. Von beiden Quellen wird demnach in gleichen Zeiten ungefähr dieselbe Menge Emanation mitgeführt.

Dieses Beispiel ist deshalb gewählt, um zu zeigen, daß die im St.-Joachimsthaler Grubenwasser enthaltene Emanationsmenge trotz der hohen spezifischen Aktivität des Wassers eigentlich gar nicht so enorm groß ist. Und da die genannte Kreuznacher Quelle durchaus nicht die natürliche Quelle mit der stärksten bekannten Aktivität ist — die Grabenbäckerquelle in Gastein ist z. B. ungefähr 9mal stärker —, wird man sicher manche andere Quelle finden können, die in gleichen Zeiten noch viel mehr Emanation aus dem Erdinnern heraus befördert. Irgendwelche Schlüsse auf die Aktivität der Gesteine, in denen das Wasser seinen Emanationsgehalt aufnimmt, kann man natürlich aus dem mitgeteilten Vergleich nicht ziehen.

Wegen der stark emanationshaltigen Luft muß im Bergwerk jeder hineingebrachte Körper selbst stark aktiv werden. Ich hatte im Edelleutstollen an zwei Stellen ca. 1 Stunde lang kleine Aluminiumblechstücke liegen lassen. Beide waren merklich aktiv geworden und zwar das Stück, das in der Nähe eines uranführenden Ganges gelegen hatte, stärker als das andere. Wegen der beschränkten Zeit und Mangel an geeigneten Hilfsmitteln (Hochspannungstrockenbatterie) konnte ich diese Erscheinung nicht näher untersuchen.

Ein Punkt ist wohl noch erwähnenswert. In dem unmittelbar beim „Edelleutstollen" gelegenen Wohnhaus zeigte der Apparat eine natürliche Zerstreuung von ca. 11 Millivolt pro Sekunde, die also ungefähr 25mal so stark als unter gewöhnlichen Verhältnissen ist (vgl. Tabelle I). In das Haus ist nie Pechblende hineingebracht worden. Es steht aber auf einer alten Halde. Und da in in früherer Zeit in St.-Joachimsthal nur Silberbau getrieben ist, wird unter dem Abraum manches Stück des damals wertlosen, jetzt so wertvollen Minerals begraben sein.

Gießen, im November 1906. Physikalisches Institut der Universität.

(Eingegangen 2. Dezember 1906.)

1) H. Mache u. St. Meyer, Wien. Ber. **114** [IIa], 378, 1905; diese Zeitschr. **6**, 695, 1905.

2) Herr Oberbergverwalter Štěp führt seit über einem Jahre systematisch Untersuchungen über den Emanationsgehalt der Grubenwasser durch. Diese Untersuchungen sind ihm ein wichtiges Hilfsmittel zum Auffinden unbekannter Erzadern geworden. So ist z. B. die im „Roten Gang" angeschlagene Erzader lediglich dadurch gefunden worden, daß einem stark emanationshaltigen Wasser in den Berg hinein nachgegangen wurde.

Versuche über gerichtete drahtlose Telegraphie.

Von K. E. F. Schmidt.

Wenn $\mathfrak{E}$ den elektrischen, $\mathfrak{H}$ den magnetischen Kraftvektor im elektromagnetischen Felde bezeichnet, so ist bekanntlich die durch ein Flächenelement sich bewegende — und für die Empfangswirkung maßgebende — Energie proportional $\mathfrak{E} \times \mathfrak{H}$. Gelingt es nun, an bestimmten Stellen des Feldes um einen Oszillator durch Anordnung der Leitungen eine Erhöhung der $\mathfrak{E}$- oder $\mathfrak{H}$-Werte zu erreichen, so muß erwartet werden, daß nach diesen Richtungen eine erhöhte Strahlungswirkung eintritt.

Es schien möglich bis zu einem gewissen Grade durch Kombination einer Vertikalantenne mit einem Horizontaldraht — als Gegengewicht — eine Konzentration der elektrischen Kraftlinien des Oszillators nach Richtung des Horizontaldrahtes zu erreichen.

In den letzten Tagen ist es mir gelungen, durch einwandfreie Versuche die Richtigkeit der von mir gelegentlich einer Vorlesung über die Strahlung elektromagnetischer Wellen (Wintersemester 1905/06) gefaßten Idee zu erweisen und zu zeigen, daß die Empfangswirkung merklich höher in Richtung des Horizontaldrahtes als nach der entgegengesetzten ist.

1. Versuchsreihe.[1]) Der Luftleiter L bestand aus Phosphorbronze-Litze von 2 mm $\oplus$; sein oberes Ende war 21—22 m über dem Erdboden durch einen Glasisolator von 40 cm Länge und ca. 4 cm $\oplus$ gehalten, an dem einen der beiden Maste meiner Sendestation abgespannt und unter einem Winkel von etwa 75^0 gegen die Horizontale nach dem Hochspannungsraum der Station

1) Die im weiteren dargestellten Versuche sind sämtlich in reiner Marconischaltung ausgeführt; die strahlende Antenne (Luftleiter) am oberen freien Ende gut isoliert, am unteren Ende angeschlossen an die Funkenstrecke, deren zweiter Pol geerdet oder mit dem Gegengewicht verbunden war.

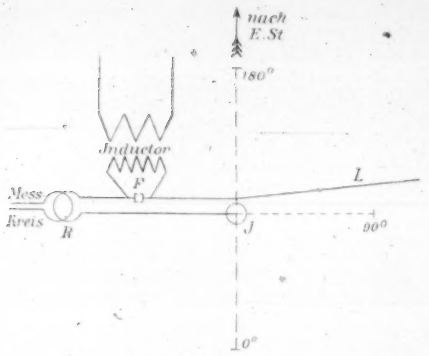


Fig. 1.

geführt. (Siehe Fig. 1.) Dort war er an den einen Pol einer Funkenstrecke F (Länge = 4 mm) angeschlossen und über diese mit einem Kopplungsring R verbunden. Von diesem ging die Leitung zurück ins Freie nach einem Isolator J und wurde von hier in 2,50 m Bodenabstand horizontal ca. 18 m weiter geführt. Zur Verlängerung der angewandten Welle wurde vor und hinter der Funkenstrecke je eine Induktionsspule von etwa $L = 30000$ cm eingeschaltet.

In drei Lagen des Horizontaldrahtes wurden Empfangsversuche ausgeführt

0°-, 90°-, 180°-Lage (siehe Fig. 1).

Die Funkenstrecke wurde erregt durch einen Röntgeninduktor von 40 cm Schlagweite, welcher von einer kleinen Wechselstrommaschine (50 ∽) gespeist wurde.

Die Resonanzkurven des Senders wurden in schon früher angegebener Weise [1]) mit einem Barretter aufgenommen. In der Empfangsstation (ca. 350 m Abstand) war eine Litze von etwa 20 m Länge — oberes Ende 16 m über Erde — über eine Abstimmspule und einen hochempfindlichen Barretter an eine künstliche Erde gelegt. Mit diesem Empfangssystem wurden gleichzeitig mit den Aufnahmen in der Sendestation die Resonanzkurven gewonnen. In der Sendestation nahm mein Assistent Hr. Mertens die Kurven auf, während ich in der Empfangsstation die nötigen Messungen vornahm. Die Resultate gibt nachstehende Tabelle I.

In dem oberen Teil stehen die Galvanometerausschläge in dem Meßkreise der Sendestation; λ sind die Wellenlängen, auf die der Meßkreis nacheinander abgestimmt war, um die Stelle zu finden, wo er mit dem Sender in Resonanz ist. Aus den mit Hilfe dieser Zahlen konstruierten

1) K. E. F. Schmidt, diese Zeitschr. **7**, 661 bis 663, 1906.

Tabelle I.

Einwirkung der Lage des Horizontaldrahtes auf die ausgestrahlte Energie.

Wellenlänge $\lambda = 167$ m.

Sendestation.			
Horizontaldraht in	0°	90°	180° Lage
$\lambda = 163$ m	$\varphi_s = 70{,}8$	$\varphi_s = 85{,}1$	φ_s —
164,5	82,2	90,8	70,1
166	91,7	96,1	72
167,5	101,6	92,1	72
109	102,6	—	69,2
170,5	99,7	86	64,9
Max.	[102,6]	[97,6]	[72,8]

Empfangsstation.			
$L =$ 3400 cm	$\varphi_e = 14$	$\varphi_e = 16$	$\varphi_e = 19$
10000	16	19,4	21
18800	19	26,7	28,4
28000	28	33	34
40700	23,5	26	26,6
55000	13	15	16,2
Max.	[29,5]	[33]	[34]
$\eta' = \frac{c_e E_e}{c_s E_s}$	0,284	0,338	0,467

Resonanzkurven sind dann die für genaue Resonanz geltenden maximalen Ausschläge ermittelt und unter Max. in eckigen Klammern den Reihen beigefügt. Der untere Teil gibt die zugehörigen Zahlen für die Empfangsstation; L sind die Werte der Selbstinduktionskoeffizienten der in der Empfangsleitung zugeschalteten Teile der Abstimmspule. Unter η' sind die Verhältnisse der maximalen Ausschläge in Empfangsstation (φ_e) und Sendestation (φ_s) angegeben. Angenähert kann man diese Ausschläge den in den Schwingungskreisen fließenden Energiemengen E_e und E_s proportional setzen; die Proportionalitätsfaktoren sind wegen der Verschiedenheit der Meßeinrichtungen in beiden Stationen verschieden, sie lassen sich aber, soweit ich übersehe, auf ein gemeinsames Maß zurückführen. Ist dies gelungen, so läßt sich aus

$$\eta' = \frac{c_e \cdot E_e}{c_s \cdot E_s}$$

der Wert $\eta = \frac{\text{nutzbare Empfangsenergie}}{\text{Energie im Sender}}$, also ein dem Wirkungsgrad einer Kraftanlage entsprechender Koeffizient ableiten, der sehr geeignet scheint, in verschiedenster Richtung Aufschluß über Fragen der Ausbreitung der Wellen in theoretischer und praktischer Hinsicht zu geben.

Da bei gleichbleibender Meßeinrichtung das Verhältnis c_e/c_s unverändert bleibt, so lassen sich aus den hier mitgeteilten Galvanometerausschlägen Relativwerte bilden, welche ein Resultat ergeben, das sich folgendermaßen aussprechen läßt:

Das oben beschriebene Sendesystem strahlt für den Horizontaldraht in 90°-Lage ca. 19 Proz., in 180°-Lage ca. 64,5 Proz. mehr Energie aus als in 0°-Lage.

Verglichen habe ich nun die Werte in der 180°-Lage mit den Empfangsresultaten bei Anschluß des Luftsenders an eine künstliche Erde. Diese besteht aus zwei Zylindern von Kupfergaze (40 cm hoch, 1,6 m Durchmesser) in Kokspackung, welche ca. 1 m unter der Erdoberfläche versenkt sind. Die Resultate sind in Tabelle II gegeben; es zeigt sich also, daß die Empfangswirkung bei Benutzung der künstlichen Erden um ca. 152 Proz. gegenüber der Verwendung des Horizontaldrahtes gesteigert ist.

Tabelle II.

Vergleich der Empfangswirkung bei Anschluß des Luftleiters an einen Horizontaldraht in 180°-Lage und an künstliche Erden.

$\lambda = 166{,}5$ m.

Sendestation.

	180°-Lage	Künstl. Erde
$\lambda = 163$ m	$\varphi_s = 54.5$	$\varphi_s = 68{,}3$
164,5	57,7	72,0
166	59,0	73,8
167,5	58,7	75,1
169	—	75,6
170,5	54,0	74,0
174	45,8	69,3
Max.	[59,1]	[75,64]

Empfangsstation.

$L = 3400$	$\varphi_e = 20$	$\varphi_e = 41$
10000	23	55
18800	28	75
28000	27	84
40700	17,5	77
55000	10	45
Max.	[28,5]	[84]
$\eta' = \frac{c_e E_e}{c_s E_s}$	0,48	1,21

In der Tabelle I fällt auf, daß die Zahlen für das Sendesystem in den verschiedenen Stellen des Horizontaldrahtes stark voneinander abweichen. Geändert wurde während der Versuche nur die Lage des Drahtes, sämtliche übrigen Bedingungen blieben gleich. Eine Erklärung findet diese Tatsache darin, daß der Horizontaldraht in den verschiedenen Lagen nicht zu vermeidende Annäherungen an Gebüsche, Teile der Mastabstrebungen usw. in ungleicher Weise erhielt. Dadurch werden, wie des öftern konstatiert wurde, erhebliche Änderungen in der Schwingung hervorgerufen. Ich stellte daher noch eine zweite Versuchsreihe an, bei welcher der Vertikaldraht mitten zwischen den 30 m Abstand haltenden Masten der Sendestation in genau senkrechter Lage angebracht wurde und der Horizontaldraht in ca. 6 m am festen und 5 m am freien Ende über dem Erdboden abgespannt war.

Die Versuche wurden zunächst in 0°- und 180°-Lage des Horizontaldrahtes und am folgenden Tage bei 180°- und 90°-Lage ausgeführt. Die Resultate gibt Tabelle III, aus der man ersieht, daß die Werte für die verschiedenen Lagen des Horizontaldrahts auf der Sendestation jetzt bis auf die Beobachtungsfehler gleich blieben. Die Steigerung der Wirkung bei Übergang aus der 0°- in die 180°-Lage beträgt jetzt 34 Proz.; der Übergang aus 0°- in die 90°-Stellung gibt hier etwa 17 Proz. Steigerung der Empfangswirkung.

Tabelle III.

Einwirkung der Lage des Horizontaldrahts auf die ausgestrahlte Energie.

$\lambda = 140$ m.

Sendestation.

	Horizontaldraht in 0°-Lage	Horizontaldraht in 180°-Lage
$\lambda = 136{,}5$ m	$\varphi_s = 152{,}4$	$\varphi_s = 158{,}4$
138	190	190
140	203	203
142	198	203
144	178	186
146	151,8	160
Max.	[203]	[203]

Empfangsstation.

$L = 18040$ cm	$\varphi_e = 52$	$\varphi_e = 35$
26256	90	66
34400	177	132
40190	213	147
48440	222	165
57800	143	100
65000	73	54
73300	39	29
Max.	[224]	[166]
	$\eta = 1{,}10$	0,82

Stellt man sich die Kraftstrahlenverteilung graphisch durch die Länge der Radienvektoren dar, so würde die ausgezogene Kurve des Bildes 2

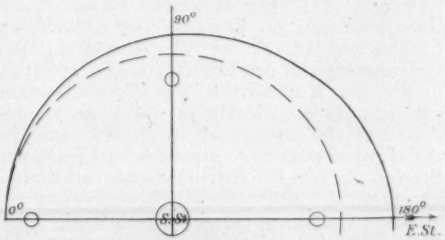


Fig. 2.

die Verteilung um den vertikalen Luftleiter bei 180°-Lage des Horizontaldrahtes ergeben; die Differenz des Radiusvektor der Kurve gegen den zugehörigen Radius des gestrichelten Kreises mißt die Mehrwirkung in der betreffenden Richtung gegen die 0°-Richtung.

Auch bei dieser Anordnung des Versuchs verglich ich mit der Wirkung bei Anschluß des Luftleiters an die künstliche Erde; in der übrigen Versuchsanordnung blieb wieder alles genau wie bei Benutzung des Horizontaldrahtes. Die Resultate zeigt Tabelle IV.

Tabelle IV.

Empfangswirkungen bei Anschluß an künstliche Erde.

Sendestation.

$\lambda = 167$ m	$\varphi_e = 37{,}7$
170	42,3
174	43,9
177	42,9
180	40,3
183	37,5
Max.	[44]

Empfangsstation.

$L = 40190$	$\varphi_e = 21$
48440	28
57800	36
65000	45
73300	59
81600	69
89600	75
> 90000	< 75
Max.	[75]

$$\eta' = \frac{c_e E_e}{c_s E_s} = 1{,}71$$

Man erkennt, daß eine wesentliche Verringerung in der Intensität der Sendeschwingung eingetreten ist, das Maximum der Ausschläge auf der Sendestation beträgt nur 44 (gegen 203 beim Horizontaldraht) und das Maximum der Empfangswirkung beträgt 75 Skt. (gegenüber 222). Berechnet man η', so ergibt sich 1,71. Das geerdete System gibt also eine bessere Ausstrahlung als der Luftdraht in Verbindung mit dem Gegengewicht. Da aber in beiden Fällen gleiche Energiemengen zur Erregung der Schwingung benutzt werden, so ist die Ausnützung der Gesamtanlage für den Empfang um ca. 196 Proz. größer bei Kombination der Vertikalantenne mit dem Horizontaldraht in 180°-Lage als bei Anschluß der erstern an die Erde; somit ist der Gesamtwirkungsgrad des letztgenannten Senders für die benutzten Versuchsverhältnisse günstiger.

Der Grund zu dieser Erscheinung liegt darin, daß im Falle des Gegengewichts der Induktor nahezu als Resonanzinduktor arbeitet, während ihn die Erdung des Senders erheblich von diesem Zustand entfernt.

Um auch bei Anschluß des Luftleiters an Erde den Induktor als Resonanzinduktor zu benutzen, mußte Tourenzahl und Magneterregung der Wechselstrommaschine gesteigert werden, also dem die Schwingung erregenden System mehr Energie zugeführt werden; entsprechend steigt auch die Empfangsenergie.

Zur Feststellung, ob der Induktor als Resonanzinduktor arbeitet, diente mir eine schwarze Scheibe mit weißem Achsenkreuz, welche ich an der Welle des Motors befestigte. Wird im verdunkelten Raum die rotierende Scheibe von der Funkenstrecke beleuchtet, so scheint das Kreuz festzustehen und erscheint ganz scharf, wenn allemal nach $^1/_4$ Umdrehung des Motors (je eine Umdrehung gibt zwei Perioden des Wechselstroms) ein Funke ausgelöst wird. In diesem Falle ist die während einer halben Periode des Wechselstroms von dem Induktor dem Sender zugeführte Energie erforderlich, aber auch gerade ausreichend, um die für Auslösung des Funkens nötige Spannung zu erzeugen. Diesen Zustand kann man durch passende Wahl der Tourenzahl des Motors und Stärke des Erregungsstromes für die Wechselstrommaschine auch schon für so kleine Kapazitäten, wie sie ein einfacher Luftdraht aufweist — etwa 140 cm elektrostatisch —, herbeiführen. Man erreicht neben einer sehr ökonomischen Ausnutzung eine gute Konstanz für die Messung und hat einen Zustand, den man sehr exakt für Wiederholung und Kontrolle der Versuche wieder herzustellen vermag; es scheint sich weiter noch eine gute Beobachtungsmethode dadurch zu ergeben, um über einige Eigenschaften des Funkens und der von ihm erzeugten Schwingungen Aufschluß zu erhalten.

Die Abweichung von diesem Resonanzzustand macht sich durch Unschärfe des Achsenbildes kenntlich; bei stärkerer Abweichung entsteht ein Gewirr von mehr oder weniger deutlichen mehrfachen Achsenbildern.

Diese Erscheinung trat z. B. ein, wenn statt des Horizontaldrahtes die Erde mit dem Luftleiter verbunden wurde.

Für den energetischen Vorgang in der Schwingung ruft die Erde also nicht ein einfaches Spiegelbild des Luftleiters hervor.

Ich habe noch weiter untersucht, welchen Einfluß die Senkung des Horizontaldrahtes in der 180°-Lage auf die Empfangswirkung ergab und gefunden, daß der Wert η' von 1,12 auf 2,2, d. i. um 100 Proz. stieg, als der Horizontaldraht von 6 auf ca. 4 m und von 0,88 auf 2,74, d. i. 210 Proz. anwuchs, als der Draht von 6 auf 2,50 m gesenkt wurde.

Weiter habe ich die Wirkung eines Sendesystems gemessen, das aus zwei 25 m langen

Horizontaldrähten in 180°-Lage der obere 6 m der untere in der gleichen Vertikalebene 2,50 m über dem Erdboden ausgespannt besteht.

Die Resultate sind in Tafel V niedergelegt; man erkennt eine gut nachweisbare, wenn auch nicht sehr starke Empfangswirkung. Die Intensität im Sender ist sehr beträchtlich. η' berechnet sich zu 0,08.

Tabelle V.

Zwei Horizontaldrähte.

$\lambda = 139$.

Sendestation.

$\lambda = 136{,}5$	$\varphi_s = 268$
138	347
140	355
142	291
144	178
Max.	[362]

Empfangsstation.

$L = 13900$	$\varphi_e = 5$
22200	11
30400	23,2
38600	23
46800	10
Max.	[29]

$$\eta' = \frac{c_e \cdot E_e}{c_s \cdot E_s} = 0{,}08$$

Es könnte zunächst scheinen, daß die hier dargestellten Versuche Modifikationen der von Marconi im Mai des Jahres 1906 veröffentlichten[1]) sind, bei denen durch Anwendung von geerdeten Horizontaldrähten — die Vertikalantenne fehlt — bis zu gewissem Grade gerichtete Wellen erzeugt werden.

Es besteht aber ein sehr wesentlicher Wirkungsunterschied zwischen beiden Versuchsanordnungen: Marconi erhält das Maximum der Wirkung, wenn der Horizontaldraht in 0°-Lage steht und ein weit kleineres Maximum in der 180°-Lage, ich dagegen erhalte ein Maximum in der 180°-Lage, bei welcher der Horizontaldraht auf die Empfangsstation gerichtet ist und das Minimum in der 0°-Lage.

Weiter tritt bei Marconis Anordnung in der Nähe der 90°-Stellung das Minimum der Wirkung ein, während ich in dieser Lage eine Steigerung um 17 Proz. gegenüber der 0°-Lage finde. Es müssen daher bei Marconis Versuchen andere Ursachen wirksam sein als bei meinen Schaltungsanordnungen, die zum Zwecke haben, die zur Verfügung stehende Sendeenergie nach einer Richtung so weit wie möglich zu konzentrieren.

Auch der η'-Wert ist bei Marconis Anordnung wesentlich kleiner als bei der meinigen, letztere gibt also mehr Wirkung. Genauere Mitteilungen darüber folgen.

Eine weitere Erhöhung der Wirkung scheint möglich durch Anwendung von ebenen Harfen in Verbindung mit Gegenharfen; Versuche mit solchen bei 8 Kilometer Entfernung Abstand der Stationen sind in Vorbereitung.

1) Electrical Review **48**, 804, 26. Mai 1906 (New York).

Tabelle VI.

Zusammenstellung der η'-Werte.[2])

	Luftleiter	Gegengewicht: Form	Gegengewicht: Höhe über Erdboden	Gegengewicht: Stellung	Oberes Ende des Empfangsdrahtes über Erde	η'
A	1. 21,5 m hoch, 75° gegen Horizontale geneigt	18 m Horizontaldraht	2,50 m	0°	10 m	0,284
	2. 21,5 m hoch, 75° gegen Horizontale geneigt	18 m Horizontaldraht	2,50 m	90°	10 m	0,338
	3. 21,5 m hoch, 75° gegen Horizontale geneigt	18 m Horizontaldraht	2,50 m	180°	10 m	0,47
	4. 21,5 m hoch, 75° gegen Horizontale geneigt	Künstliche Erde	—	—	10 m	1,21
B	5. 31 m hoch, vertikal	24 m Horizontaldraht	6 m	0°	10 m	0,82
	6. 31 m hoch, vertikal	24 m Horizontaldraht	6 m	90°	10 m	(0,96)[3])
	7. 31 m hoch, vertikal	24 m Horizontaldraht	6 m	180°	10 m	1,10
	8. 31 m hoch, vertikal	Künstliche Erde	—	—	10 m	1,71
C	9. 31 m hoch, vertikal	24 m Horizontaldraht	4,4 m	180°	12 m	2,2
	10. 31 m hoch, vertikal	24 m Horizontaldraht	2,5 m	180°	12 m	2,7
	11. horizontal, 6 m hoch	24 m Horizontaldraht	2,5 m	180°	12 m	0,08

2) Die η'-Werte lassen auch über die Güte der Isolationen in den Sende- und Empfangsleitungen urteilen. An zwei Tagen mit nahezu gleicher Trockenheit fand ich unter gleichen Bedingungen die Werte 0,47 und 0,48, während für ein anderes System an dem einen Tage 1,10, am zweiten 0,77 gefunden wurde; am ersten Tage war trocknes Wetter, am zweiten war heftiges Regenwetter.

3) Reduzierter Wert.

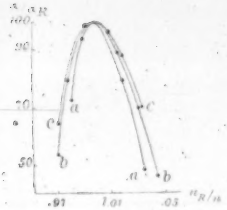


Fig. 3.

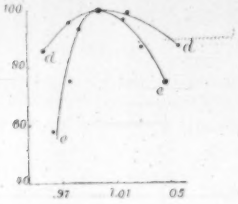


Fig. 4.

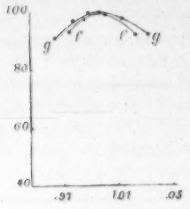


Fig. 5.

Eine übersichtliche Zusammenstellung der Versuche gibt Tafel VI. Im Anschluß daran sind in Fig. 3 bis 5 die Resonanzkurven des Senders für die oben beschriebenen verschiedenen Anordnungen des Sendesystems zusammengestellt und zum Zwecke einer zunächst qualitativen Ermittelung der Dämpfung auf gemeinsames Maß zurückgeführt. Als Abszissen sind aufgetragen die Relativwerte der Frequenzen (n für Resonanz = 1), als Ordinaten die Relativwerte der Galvanometerausschläge (φ für Resonanz = 100).

Fig. 3	a)	Zum Versuch 11	Sender: Zwei Horizontaldrähte					$\eta' = 0{,}08$
	b)	„ „ —	Luftleiter	31 m	hoch,	Horizontaldraht	6 m hoch	—
	c)	„ „ 10	„	31 m	„	„	2,5 m hoch	2,7
Fig. 4	e)	„ „ 7	„	31 m	„	„	6 m hoch	1,10
	d)	„ „ 8	„	31 m	„	künstliche Erde		1,71
Fig. 5	f)	„ „ 3	„	27 m	„	Horizontaldraht	2,5 m hoch	0,47
	g)	„ „ 4	„	27 m	„	künstliche Erde		1,21

Bekanntlich spricht sich Vermehrung der Dämpfung durch Größerwerden des Abstandes symmetrischer Kurvenpunkte aus. Man sieht sofort, daß geringe Dämpfungen überall dort auftreten, wo η' kleine Beträge hat und daß mit wachsendem η' auch die Dämpfung zunimmt.[1])

Zusammenfassung.

1. Durch Verbindung eines vertikalen Luftleiters mit einem horizontalen Gegendraht läßt sich die Sendewirkung in Richtung des Horizontaldrahtes merklich erhöhen, den ausgestrahlten Wellen bis zu einem gewissen Grade also Richtung erteilen.

2. Durch Annäherung des Horizontaldrahtes an die Erde wird die Richtungswirkung erhöht.

3. Annäherung des Gegendrahtes an die Erde erhöht die Sendewirkung eines Systems. Die günstigsten Sendebedingungen gibt der Anschluß des Luftleiters an Erde.

4. Die hier beschriebenen Richtungsversuche sind nicht identisch mit den von Marconi gefundenen.

5. Die Empfangswirkung ist bei meiner Anordnung wesentlich größer als bei Marconi.

1) Vergleichbar sind nur Werte gleicher Gruppen.

Halle a/S.-Cröllwitz, Physikalische Versuchsstation, im November 1906.

(Eingegangen 6. Dezember 1906.)

Über die Abstimmung funkentelegraphischer Sender.

Antwort auf die Entgegnung des Herrn Slaby.[1])

Von Max Wien.

Die Entgegnung des Herrn Slaby[2]) auf meine Kritik[3]) seiner letzten Arbeit[4]) könnte vielleicht durch die Sicherheit des Tones den Eindruck erwecken, als ob meine Angriffe nicht in allen Punkten genügend begründet wären. Ich werde deshalb im folgenden nochmals darauf zurückkommen, und bitte im Interesse der Sache meine Begründung sorgfältig dahin zu prüfen, ob ich in meiner Kritik zu weit gegangen bin oder nicht.

Die wesentlichsten Ergebnisse meiner Besprechung waren folgende:

1. Herrn Slabys Einwände gegen die alte Theorie der Koppelung sind unbegründet.

2. Seine Gleichungen für gekoppelte Sender beruhen auf falscher Grundlage und ihre Ableitung ist fehlerhaft.

3. Die gute Übereinstimmung zwischen diesen Gleichungen und seinen Messungen ist bei loser Koppelung nur eine scheinbare, bei

1) Da mir in der Elektrotechnischen Zeitschrift nur noch Raum unter „Briefe an die Schriftleitung“ zur Verfügung gestellt wurde, habe ich meine ausführliche Arbeit hier veröffentlicht.

2) „E.T.Z.“ 1906, S. 973.

3) Ebenda 1906, S. 837.

4) Ebenda 1904 und 1905.

fester Koppelung durch Rechenfehler bedingt und bei richtiger Rechnung viel schlechter.

4. Die durch die falsche Eichung seiner Multiplikationsstäbe verursachten Fehler sind größer, als Herr Slaby sie angibt.

5. Bei seinen Versuchen über die Fernwirkung elektromagnetischer Wellen mißt Herr Slaby statt dieser die Nahewirkung, und seine Angabe, daß er durch seine Versuche die Maxwellsche Theorie bestätigt habe, beruht auf Mißverständnis dieser Theorie.

6. Die Ergebnisse seiner Versuche über die Verstimmung gekoppelter Sender sind infolge falscher Versuchsanordnung unrichtig.

7. Die Ergebnisse Herrn Slabys über den Frequenzfaktor von Kondensatoren speziell von Größenplatten sind unrichtig.

8. Die Ergebnisse der Messungen des Funkenwiderstandes sind unrichtig und widersprechen den Resultaten von Drude und Rempp.

9 Nicht Herr Slaby, wie er in seiner Arbeit angibt, sondern Marconi hat die ersten gelungenen Versuche über abgestimmte Funkentelegraphie angestellt.

Ich werde diese 9 Punkte zugleich mit den Entgegnungen Slabys durchsprechen; die in Klammern hinzugefügten Zahlen beziehen sich auf den Abschnitt der Slabyschen Entgegnung, worin der Punkt besprochen ist.

Zu 1 (—). Ich habe nachgewiesen, daß die Ergebnisse Slabys über eintönige Sender schon in der alten Theorie enthalten waren und mit ihr durchaus im Einklang stehen, und daß das Verhalten der Dämpfung, worin er einen Widerspruch mit dieser Theorie erblickt und weswegen er eine Nachprüfung derselben für nötig hielt, gerade ein grundlegendes Ergebnis dieser Theorie ist, daß er also die Theorie nicht gekannt oder nicht verstanden hat.

Hierauf hat Herr Slaby nichts erwidert.

Zu 2 (II, 4). Herr Slaby faßt die beiden Schwingungen, die bei einem gekoppelten Sender auftreten, als Grundwelle (λ_1) und erste Oberwelle ($\lambda_2 = \lambda_{1/3}$) auf. Ich habe nachgewiesen, daß diese Grundannahme physikalisch unzulässig ist, weil λ_1 und λ_2 sich einander beliebig nähern können, was dem Wesen von Grund- und Oberschwingung widerspricht. Dagegen behauptet Herr Slaby, daß dies doch möglich sei, da es ja auch unharmonische Obertöne gäbe. Es scheint Herrn Slaby unbekannt zu sein, daß Grundton und — harmonischer oder unharmonischer — Oberton durchaus verschiedene Schwingungsformen eines Systems sind, deren Schwingungszahlen durch eine unüberschreitbare Kluft getrennt sind und auf keinen Fall sich einander beliebig nähern können: der Ton einer Pfeife „schlägt" in den Oberton „um", geht aber nicht allmählich in ihm über.

Ich habe ferner gegen die Rechnung den Einwand gemacht, daß die Kapazität des Senders unter der Annahme $\lambda_2 = {}^1/_{1/3}$ berechnet sei und daß diese Rechnung für $\lambda_1 = \lambda_2$ nicht mehr richtig sein könnte.

Hierauf hat Herr Slaby nichts erwidert.

Daß zwei Wellen auch bei geschlossenem Sekundärsystem tatsächlich auftreten, wo die Kapazität von der Wechselzahl unabhängig ist, wo also die Auffassung von Herrn Slaby ausgeschlossen ist, betrachtet Herr Slaby auch jetzt noch nicht als Beweis gegen seine Auffassung. Er schreibt, er hätte gekoppelte geschlossene Kondensatorkreise nicht untersucht, jedoch lägen die Verhältnisse hier eben ganz anders. Natürlich sind Unterschiede vorhanden, aber in dem Punkt, auf den es hier ankommt, die Wirkung der Koppelung, sind geschlossene und offene Sender einander im Prinzip durchaus gleich, wie der darauf basierte Braunsche Sender und die von ihm ausgehende neuere Entwicklung der Telegraphie ohne Draht beweist. Schließlich ist die Dämpfung, die hier eine entscheidende Rolle spielt, überhaupt nicht berücksichtigt. Auch hierauf hat Herr Slaby nichts erwidert.

Meinen vier schwerwiegenden Einwänden gegen seine Rechnung stellt Herr Slaby sachlich nichts gegenüber als zwei unrichtige Behauptungen ohne jeden Versuch eines Beweises. Desto sicherer wird später angegeben, daß ich ihm keinen Fehler gegen die theoretische Ableitung seiner Formeln hätte nachweisen können.

Zu 3 (I, 1). Ich habe gezeigt, daß die Versuche Slabys über lose Koppelung für seine Gleichungen nicht bewiesen sind, weil die Wirkung der Koppelung in die Grenzen der Beobachtungsfehler fällt. Dagegen behauptet Herr Slaby, daß ich seine Werte falsch zusammengestellt hätte. Das ist nicht richtig: meine Zusammenstellung ist nach der Theorie gekoppelter Systeme nicht nur berechtigt, sondern sogar notwendig. Durch die Koppelung gehen die beiden Wellenlängen der Einzelsysteme λ_a und λ_b in λ_a' und λ_b' über. Es muß, um die Wirkung der Koppelung zu studieren, λ_a' mit λ_a und λ_b' mit λ_b, den Wellenlängen, aus denen die Koppelungswellen entstanden sind, verglichen werden. Herr Slaby stellt λ_b' mit λ^a und λ_a' mit λ_b zusammen. Das gibt größere Differenzen, ist aber physikalisch unrichtig.[1]) —

(I, 2). Gegen meine Angabe, daß bei fester Koppelung die gute Übereinstimmung zwischen Messung und Rechnung im wesentlichen auf

1) Wie die Kurvenzweige, auf die sich Herr Slaby beruft, in der Tat zusammengehören, kann man aus den Figuren 2, 3, 4 meiner Arbeit „Über die Rückwirkung eines resonierenden Systems" (Wied. Ann. **61**, 151, 1897) leicht entnehmen.

Rechenfehlern beruhe, wendet Herr Slaby ein, daß der Mittelwert auch nach Einführung meiner Korrekturen noch gut übereinstimmte.

Der gleiche Mittelwert ist bei zwei fortlaufenden Zahlenreihen noch durchaus kein Beweis für ihre Übereinstimmung, sonst wäre ein 100teiliges Thermometer, daß statt 0°, 30°, 70°, 100° — 20°, 40°, 60°, 80° anzeigt, richtig, weil der Mittelwert 50 der gleiche ist. Erst bei der Bildung der Differenz des Endwertes 80° — 20° — 60° merkt man den Fehler. Das gleiche habe ich bei der Tabelle von Herrn Slaby gemacht und bin zu einer Differenz von 76 Proz. gekommen. Der Mittelwert ist hier hauptsächlich durch die Wellenlängen der ungekoppelten Systeme mitbestimmt, ist aber unwesentlich. Ob die Koppelung durch die Gleichungen richtig wiedergegeben wird, kann man, wie Herr Slaby selbst hervorhebt, am besten daran erkennen, ob der Kurvencharakter der gleiche ist. In Tabelle I und Fig. 1 sind zunächst für das Beispiel *A* mit der engsten Koppelung die Werte für λ_2 eingetragen.

Tabelle I. Beispiel *A*.

				mit C_d berechnet	
C_f	$\lambda_{g/4}$	$\lambda_{v/4}$	$\lambda_{r/4}$	$\lambda_{v/4}$	$\lambda_{r/4}$
2600	50,0	50,4	51,5	48,1	49,1
3000	52,5	52,2	53 4	49,7	51,0
3750	55,7	55,0	55,3	52,0	53,3
4700	58,8	58,0	56,5	54,0	54,9

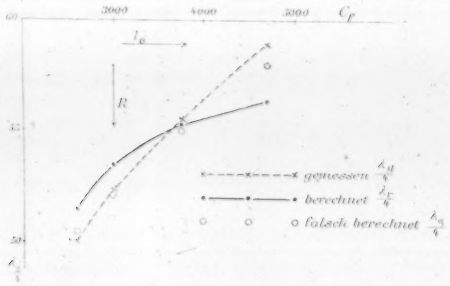


Fig. 1.

Man sieht, wie die verhältnismäßig gute Übereinstimmung zwischen den beobachteten Werten $\lambda_{g/4}$ und den von Herrn Slaby berechneten Werten $\lambda_{v/4}$ bei richtiger Rechnung $\frac{\lambda r}{4}$ gänzlich verschwindet. Der charakteristische Unterschied im Verlauf der Kurven besteht in der anderen Richtung der Kurven: in der Nähe der Resonanz (*R*) — also gerade in der wichtigsten Gegend — nach den größeren Werten zu verläuft die berechnete Kurve viel zu flach.

Wenn ich in meiner Kritik sagte, daß die Slabyschen Formeln nur ungenaue Näherungswerte ergäben, so erscheint dieser Ausdruck beim Anblick der beiden Kurven eher zu milde als zu scharf.

Auch bei dem zweiten Beispiel Slabys tritt, wie aus Tabelle II und Fig. 2 ersichtlich, der charakteristische Unterschied zwischen Formel und Versuch deutlich hervor, obgleich hier wegen der loseren Koppelung die Differenzen an sich alle kleiner sind. Auch hier wird die Übereinstimmung durch die richtige Rechnung wesentlich schlechter.

Tabelle II. Beispiel *B*.

C_f	$\lambda_{g/4}$	$\lambda_{v/4}$	$\lambda_{r/4}$	$\lambda_{r/4}$ (mit C_d berechnet)
3000	40,7	40,5	40,8	40,1
3850	45,3	46,4	45,7	44,8
4800	48,8	49,8	50,2	48,7
5650	51,5	52,1	53,1	51,4
6300	53,3	53 6	55,0	53,0
7500	56,5	55,8	56,3	54,9

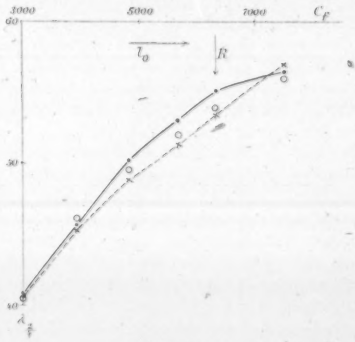


Fig. 2.

Meine Ausstellungen an der Slabyschen Theorie betreffen vor allem λ_2, jedoch zeigen sich auch bei λ_1 erhebliche Abweichungen, die über die Fehlergrenzen hinausgehen. Auch hier sind von 12 angegebenen Werten 11 unrichtig berechnet. Alle 11 Rechenfehler sind so gerichtet, daß sie die Übereinstimmung verbessern.

(I, 3.) Um das Kautschukartige der Slabyschen Formel zu beweisen, habe ich nebenher angeführt, daß die Übereinstimmung eher besser als schlechter würde, wenn man in die Formel für λ_2 C_d statt $C_d/2$ einsetzt.

Herr Slaby hat diese Angabe an Beispiel *A* nachgerechnet und kommt zu dem Resultat, daß die Übereinstimmung bei der Rechnung mit C_d viel schlechter sei. Die von ihm angeführten Zahlen sind nach zwei Seiten hin unrichtig, einmal hat er bei $C_d/2$ seine mit

Rechenfehlern behafteten Zahlen, obgleich er wußte, daß sie falsch sind, unkorrigiert wieder angeführt, zweitens hat er bei C_d von neuem alle Werte um einige Prozent falsch berechnet (vgl. Tabelle 1) und zwar fallen diese Rechenfehler wieder zu seinem Gunsten aus. Bei richtiger Rechnung ist nach der Formel mit C_d der mittlere Fehler bei Beispiel A größer — 4,0 gegen 2,4 Proz., — bei Beispiel B kleiner — 1,0 gegen 1,8 Proz. — als nach der Formel mit C_{d^2}. In beiden Beispielen ist jedoch bei C_d die charakteristische Abweichung in der Steilheit der Kurve in der Nähe der Resonanz kleiner: im ganzen also „die Übereinstimmung eher besser als schlechter".

Diese Rechenfehler sind schwerwiegender, als es vielleicht auf den ersten Anblick erscheint: der Fortschritt in der Wissenschaft beruht wesentlich auf der zahlenmäßigen Übereinstimmung von Theorie und Versuch; deshalb müssen, falls eine Arbeit ernst genommen werden soll, gerade in diesem Punkte die höchsten Anforderungen an Sorgfalt und Zuverlässigkeit gestellt werden. Die Art und Weise, wie hier mit den Zahlen umgegangen wird, wie infolge einfacher Rechenfehler in ganzen Tabellen das eine Mal Übereinstimmung entsteht, wo keine ist, das andere Mal die Übereinstimmung weit über die Beobachtungsfehler hinaus verbessert oder verschlechtert wird, und so alle Versuchsreihen zugunsten des Autors verändert werden, beweist, daß die vorliegende Arbeit diesen Anforderungen nicht entspricht.

(I, 5.) Hierher gehört auch der eigentümliche Fehler bei der Bestimmung der Kapazität eines parallel zum Boden ausgespannten Drahtes: in einer Tabelle, bei der Rechnung und Versuch bis auf ein Bruchteil eines Prozents übereinstimmen, entdeckte ich durch Zufall bei einem der berechneten Werte einen Rechenfehler von 14,5 Proz. Herr Slaby stellt in seiner Entgegnung es so hin, als ob ich auf den „kleinen" Rechenfehler besonderen Wert gelegt hätte. Ein vereinzelter Rechenfehler kann überall vorkommen. Das Auffallende ist, daß die Messung diesen Fehler genau mitmacht, der 20mal so groß ist, wie der mittlere Fehler bei den übrigen Messungen. Ich habe daraus nur den Schluß gezogen, daß in der Slabyschen Arbeit auch bei einfachen Messungen große Beobachtungsfehler vorkommen könnten. Herr Slaby selbst hat auf eine andere Auffassung hingewiesen, die nicht in meinen Worten lag. Auf jeden Fall wäre es besser gewesen, wenn Herr Slaby, anstatt seine Entrüstung zu äußern, eine genügende sachliche Erklärung des auffallenden Meßfehlers an der Hand seines Beobachtungsheftes gegeben hätte. Er führt als Grund nur an, daß bei dem geringsten Abstand Meßfehler „so gut wie unvermeidlich" seien. Prüfen wir dies genauer: die Kapazität ist bei dem geringsten Abstand die größte, also am leichtesten zu messen. Der Abstand selbst betrug 10 cm; wenn wir hier bei sehr roher Messung einen Fehler von 1 cm zugeben, so würde das das Resultat um $4^1/_2$ Proz. verändern, während der Fehler 14,5 Proz. betrug. Auch weist der nächste Wert bei 20 cm Abstand nur 0,7 Proz. Differenz zwischen Messung und Rechnung auf. Die angegebene Erklärung kann hiernach nicht als genügend angesehen werden.

Zu 4 (II, 8). Als Beweis für die Brauchbarkeit seines Multiplikationsstabes führt Herr Slaby einige Stellen aus den Arbeiten von Drude und Gehrcke und einen liebenswürdigen Privatbrief Drudes an. Die Praxis hat anders entschieden: so ist z. B. bei der Gesellschaft Telefunken statt des Multiplikationsstabs überall der viel exaktere Wellenmesser im Gebrauch.

Die Angabe Slabys, daß er im ersten Teil seiner Arbeit „fast ausschließlich" den Stab No. 4 mit dem kleinsten Eichfehler benutzt habe, entspricht nicht den Tatsachen. Der Meßbereich dieses Stabes geht aus bei $= \lambda/4$ 20,7 m. Nun ist in 13 von den 25 bis 30 im ersten Teil angeführten Tabellen mit Wellenlängenmessung $\frac{\lambda}{4}$ durchweg oder zum Teil größer als 20,7 m, es muß also auch Stab 6 sehr vielfach benutzt sein. Grade der Übergang von einem Stab zum andern innerhalb einer Beobachtungsreihe bedingt wegen der verschiedenen Eichungskorrektionen der Stäbe auch bei relativer Messung erhebliche Fehler.

Aber wenn wir auch nur den Stab 4 allein betrachten, so sind auch bei diesem die Gehrckeschen Korrektionen sehr verschieden: sie schwanken zwischen 3,5 und 10 Proz. und zeigen ein deutliches Minimum für $\lambda/4$ zwischen 11 und 12 m, von wo nach beiden Seiten die Korrektionen um mehrere Prozente zunehmen. Hiervon ist in den Tabellen des ersten Teiles der Slabyschen Arbeit nichts zu spüren: die Differenzen zwischen Berechnung und Messung liegen meist unter 1 Proz. Bei der Tabelle S. 15 z. B. ist die größte Abweichung 0,76 Proz., im Mittel 0,30 Proz. oder, wenn man den konstanten Fehler abzieht, sogar nur 0,49 bezw. 0,17 Proz. Von dem Minimum der Gehrckeschen Eichung und dem Gange ist auch hier nichts vorhanden, trotzdem die in Betracht kommenden Eichungsdifferenzen mehr als das 10fache des mittleren Fehlers betragen.

Die „verblüffend gute" Übereinstimmung bedarf nach wie vor der Aufklärung.

(I, 4.) Herr Slaby gibt an, daß er bei der Messung des Frequenzfaktors von Kondensatoren die Selbstpotentiale der benutzten Rollen

nicht nach der Brückenmethode, sondern durch Messung der Wellenlänge mit Hilfe des Multiplikationsstabes bestimmt hätte. Aus folgenden Gründen mußte ich annehmen, daß die Brückenmethode verwandt sei:

a) Herr Slaby gibt die Art der Messung der Selbstpotentiale nicht an, obgleich dies zur Erläuterung der Methode notwendig gewesen wäre. Im Gegenteil verwendet er nach eigner Angabe bei der Messung die Größenkondensatorenrollen, deren Selbstpotential ohnehin schon nach der Brückenmethode gemessen war. Warum wurden diese Werte nicht benutzt, sondern eine zweite umständliche Messung gemacht?

b) Von den zu den weiteren Messungen verwandten vier Rollen stimmen bei zweien die Selbstpotentiale ziffernmäßig — 15600 und 22500 — mit vorher nach der Brückenmethode gemessenen Rollen überein, bei den beiden anderen sind kleine Differenzen vorhanden — 29300 gegen 30000 und 36400 gegen 37500 — die sich leicht durch etwas andere Zuleitungen erklären lassen. Wenn die Rollen mit dem Multiplikationsstab gemessen wurden, so hätten sehr erhebliche Abweichungen der Selbstpotentiale hervortreten müssen; die ziffernmäßige Übereinstimmung konnte dann nur auf einem ganz überaus merkwürdigen Zufall beruhen. Zur Annahme eines solchen Zufalls war ich nicht berechtigt.

c) Schließlich durfte ich, ohne Herrn Slaby zu nahe zu treten, nicht annehmen, daß die Messung der Rollen mit dem Multiplikationsstab erfolgt sei, da als Konsequenz davon die Messung des Frequenzfaktors der Luftkondensatoren sich als eine direkte Scheinmessung erweist, wie sogleich gezeigt werden soll. Es sei C die Kapazität eines Luftkondensators für langsame Pulsationen, γC diejenige für schnelle Schwingungen. Herr Slaby bestimmt nun zunächst die Selbstinduktion L der angewandten Rollen, indem er sie zu Schwingungskreisen mit Luftkondensatoren vereinigt, durch die Messung der Wellenlänge und Berechnung mit dem Multiplikationsstab nach der Gleichung

$$\lambda = 2\pi\sqrt{L \cdot C \cdot \gamma}.$$

Zur Bestimmung von γ wird der zu untersuchende Luftkondensator (C') mit den gemessenen Rollen wieder zu Schwingungskreisen vereinigt und mit dem Multiplikationsstab die Wellenlänge λ' gemessen und wieder zur Berechnung der Gleichung

$$\lambda' = 2\pi\sqrt{L\,C'\,\gamma}$$

benutzt. Wenn man nun aus der ersten Gleichung L berechnet und in die zweite einsetzt, so fallen allerdings die Eichungsfehler des Multiplikationsstabes heraus, gleichzeitig aber auch der gesuchte Frequenzfaktor γ, der sich nun notwendig zu eins ergehen muß. Offenbar haben wir es hier mit einem Schulbeispiel eines „Circulus vitiosus" zu tun.

Daß jemand, der diese Messungen und Rechnungen durchführt, dies nicht merkt, erscheint ausgeschlossen. Trotzdem führt Herr Slaby zwei ausführliche Meßreihen für den Frequenzfaktor von Luftkondensatoren an und bespricht sie eingehend, und als Resultat wird endlich aus diesen „Messungen" der Schluß gezogen, daß der erste herausgefallene Frequenzfaktor den Wert 1 hätte und Luftkondensatoren für langsame Pulsationen den gleichen Wert besäßen wie für schnelle.

Da Herr Slaby angibt, daß seine Rollen in der Tat mit dem Multiplikationsstab gemessen wurden, so müssen wir die doppelte Bestimmung des Selbstpotentials, die eigentümliche ziffernmäßige Übereinstimmung der Zahlenwerte und schließlich auch die Scheinmessung mit in den Kauf nehmen. Was wird dafür gewonnen?

Die „unsinnigen" Fehler bei der Bestimmung des Frequenzfaktors fallen allerdings auf diese Weise fort, aber in gleicher Höhe (7—21 Proz. bei Stab 4, 12—28 Proz. bei Stab 6) mußten sie als Differenz zwischen den Werten der nach der einen und nach der anderen Methode gemessenen Selbstpotentiale auftreten. Daß diese Differenzen nicht bemerkt oder nicht beachtet wurden, ist höchst auffallend, besonders da sich hier eine willkommene — und sehr notwendige — Gelegenheit bot, die absoluten Bestimmungen zu kontrollieren. Es liegt hierin also wieder ein Beweis für die Unsicherheit der Bestimmung der Grundkonstanten der ganzen Arbeit. Die sogleich zu besprechenden unrichtigen Resultate der Messungen sind zum Teil dieser Unsicherheit zuzuschreiben.

Zu 5. Bei seinen Versuchen über die Fernwirkung elektromagnetischer Wellen hat Herr Slaby, wie ich gezeigt habe, statt dieser die Influenz- und Induktionswirkung in der Nähe des Senders gemessen und glaubte damit die Maxwellsche Theorie zu bestätigen, aus der nach seiner Ansicht folgt, daß „die elektrische Fernwirkung mit dem Kubus der Entfernung, die magnetische mit der einfachen Entfernung abnehmen". Auf diesen Vorwurf eines fundamentalen theoretischen Irrtums und prinzipiell falscher Versuchsanordnung hat Herr Slaby überhaupt nichts erwidert, falls man nicht seine Bemerkung (I, 6) „Wie ging ein sehr großer Teil der Energie über? Doch offenbar durch den Raum, also durch Fernwirkung, da die Isolation meiner Schwingungssysteme oft kontrolliert war" auch hierauf beziehen will. Daß es sich hier um „Fern"wirkung im Gegensatz zu „Nah"wirkung handelt, und daß die Fernwirkung erst in einer Entfernung beginnt, die

groß ist gegen die Wellenlänge, sollte jedem, der sich mit diesen Dingen beschäftigt, bekannt sein.

Zu 6 (I, 6). Bezüglich seiner Versuche über die Bestimmung gekoppelter Systeme begegnet Herr Slaby meinem prinzipiellen Einwand zu enger Koppelung der Empfangsharfe mit der Frage: „Bei 9 m Entfernung eine enge Koppelung?" Er vergißt hinzuzufügen, daß die Sendeharfe über 16 m lang, die Empfangsharfe über 14 m war.

Dadurch, daß nach seiner eignen Angabe ein sehr erheblicher Teil der Energie auf die Empfangsharfe übergeht, ist direkt der Beweis erbracht, daß die Koppelung zu eng war und daß eine Rückwirkung stattfinden mußte: gerade so wie die sekundäre Wickelung eines Transformators, sobald merkliche Energie auf sie übergeht, den primären Strom beeinflußt. Infolge der Rückwirkung wird die Schwingungsenergie des Senders und damit die zu messende Fernwirkung verändert; sie ist eine andere, wenn die Empfangsharfe nicht vorhanden ist, als wenn sie vorhanden ist: „es verändert also die Meßvorrichtung die zu messende Größe". Das Beispiel des gebremsten Motors, das Herr Slaby dagegen aufführt, ist zwar sehr bekannt, paßt aber absolut nicht her und beweist, daß ihm der ganze Gedankengang fremd ist. Ein richtigeres Beispiel, das leider auch häufig vorkommt, ist, wenn jemand einen Strom messen soll und dazu ein Amperemeter mit zu großem Widerstand einschaltet, wodurch der zu messende Strom geändert wird.

Außer der zu engen Koppelung sind bei diesen Versuchen noch andere schwere Fehlerquellen vorhanden: z. B. verstimmt Herr Slaby seine Empfangsharfe durch Einschaltung von Induktionsrollen; dadurch wird unter sonst gleichen Verhältnissen — ebenso wie nach seinen eignen Messungen die ausgestrahlte — so auch die aufgenommene Energie verringert. Ferner verwendet er Partialentladungen. Wie er selbst anführt, besitzen die nachfolgenden Entladungen ein niedrigeres Potential als die erste. Wie hoch diese Potentiale bei verschiedenen Schwingungszahlen und Kapazitäten ausfallen, ist unkontrollierbar. Nach Rempp[1]) sind nur dann einwandfreie Resultate zu erzielen, wenn bei jeder Unterbrechung nur ein Funke mit sicherem Potential übergeht.

Herr Slaby bemüht sich, seine Resultate sogar qualitativ mit meiner Theorie der Verstimmung in Einklang zu bringen, indem er angibt, daß bei dem Kabelsender die Dämpfung die vierfache, bei dem Harfensender die mehr als fünffache gewesen sei, wie bei den Kondensatorkreisen. Dies Bemühen ist von vornherein vergeblich, denn meine Gleichungen sind — was Herr Slaby allerdings nicht wissen konnte — überhaupt nicht direkt auf seine Versuche anwendbar. Ich hatte, entsprechend den jetzigen Anordnungen bei der drahtlosen Telegraphie, einen schwachgedämpften Empfänger vorausgesetzt. Bei Herrn Slaby war umgekehrt die Dämpfung der Empfangsharfe nebst Hitzdrahtinstrument größer als die des Senders, deren Dämpfung durch den Kondensatorkreis verringert ist. Führt man dies in meine Gleichungen ein, so ergibt sich für eine 4—5 fache Dämpfung des Sekundärsystems eine ca. 8—12 proz. Erhöhung des Stromeffekts im Empfänger durch die Verstimmung, während Herr Slaby für die Kabel im Mittel ca. 50 Proz., im Höchstfall 100 Proz., für die Harfe im Mittel ca. 800 Proz. im Höchstfall 3000 Proz. (!) findet. Da Herrn Slaby vielleicht der Nachweis der Fehler in seiner Versuchsanordnung und der Widerspruch seiner Resultate mit der Theorie noch nicht genügen dürfte, so habe ich seinen Harfensender genau kopiert und eigne Versuche damit angestellt, wozu mir die Abteilung für Schiffbau an der hiesigen Hochschule ihren großen Schnürboden freundlichst zur Verfügung stellte.

Zunächst ergab sich die Dämpfung der Harfe selbst als lange nicht so groß, wie Herr Slaby sie angibt: ich erhielt aus Resonanzkurven das Dekrement zu ca. 0,23, während die zu den Koppelungsversuchen benutzten Kondensatorkreise je nach der Kapazität 0,11 bis 0,14 besaßen. Die Dämpfung der Kondensatorkreise entspricht den Ergebnissen Rempps.[1]) Sie rührt im wesentlichen von dem Funkenwiderstand her, kann also bei Herrn Slaby ebenfalls nicht viel kleiner gewesen sein. Aus seinen eigenen Versuchen über den Funkenwiderstand würde sie sich sogar erheblich größer, etwa zu 0,3, ergeben, jedoch sind die Slabyschen Versuche ebenfalls nicht einwandfrei (vgl. 8). Da die Harfe, wie gesagt, genau kopiert war, so kann ihre Dämpfung, die wesentlich auf Strahlung beruht, bei Herrn Slaby ebenfalls nicht merklich anders gewesen sein. Wäre sie, wie er angibt, die mehr als fünffache derjenigen der Kondensatorkreise gewesen, so hätte das Dekrement mehr als 0,6—0,8 betragen müssen. Dabei wäre die scharfe Resonanz, die Herr Slaby mehrfach gerade bei diesen Versuchen hervorhebt, ausgeschlossen gewesen.

Hiernach entspricht die Angabe von Herrn Slaby, daß die Dämpfung seiner Harfe mindestens die fünffache seiner Kondensatorkreise gewesen sei, nicht den Tatsachen, sondern sie kann kaum mehr als das Doppelte be-

1) Rempp, Ann. d. Physik 17, 627, 1905.

1) Rempp, l. c.

tragen haben. Für die doppelte Dämpfung beträgt die theoretische Erhöhung des Stromeffekts durch Verstimmung für den Slabyschen Empfänger nicht einmal 12 Proz., sondern nur 2—3 Proz., während Herr Slaby, wie gesagt, eine Erhöhung bis zu 3000 Proz. beobachtete.

Die Wirkung der Verstimmung habe ich nun in der Weise untersucht, daß die Wellen des Harfensenders, zu deren Erzeugung nur Einzelentladungen, keine Partialfunken verwandt wurden, auf einen lose gekoppelten Empfänger mit sehr geringer Dämpfung wirken ließ. Die Verstimmung geschah, wie bei Herrn Slaby, durch Veränderung der Kapazität des Kondensatorkreises. Innerhalb der Grenzen, die durch die Wirkung des Funkens[1]) gegeben sind, entsprechen die Ergebnisse durchaus der Theorie, nach der in unserem Falle für beide Wellen eine kleine Erhöhung des Stromeffekts um ca. 10 Proz. zu erwarten war. In Fig. 3 und 4

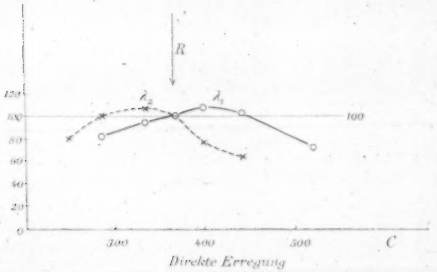


Fig. 3.

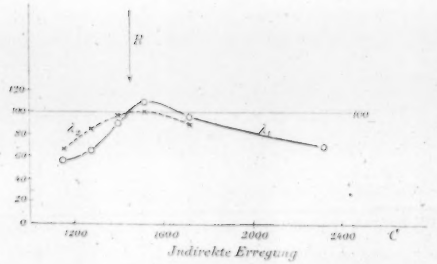


Fig. 4.

sind zwei Beispiele solcher Versuchsreihen gegeben, bei denen der Stromeffekt für die Resonanz (R) bei beiden Wellen = 100 gesetzt ist. Die Erhöhung des Stromeffekts ist der Theorie gemäß sehr gering, aber vor allem bei der tieferen Schwingung stets deutlich erkennbar; oft weniger gut bei der höheren, z. B. in Fig. 4, was darin seinen Grund haben dürfte, daß infolge der Verstimmung durch Veränderung der Kapazität eine Verschiebung zugunsten der tieferen Schwingungen bewirkt wird. Die beobachtete Verbesserung des Stromeffekts durch Verstimmung entspricht noch nicht dem hundertsten Teil derjenigen, die im Mittel von Herrn Slaby beobachtet wurde.

Hiernach muß ich mein früheres Urteil über diese Versuche, daß die Ergebnisse durch unrichtige Versuchsanordnung stark beeinflußt wären, dahin abändern, daß das, was Herr Slaby wissen wollte, nämlich die Wirkung der Verstimmung, mit dem, was er tatsächlich gemessen hat, überhaupt nichts zu tun hatte, sondern vollständig durch die Fehlerquellen verdeckt wurde.

Zu 7 (I, 4). In bezug auf die Grissonplatte hat Herr Slaby einen Helfer in Herrn Grisson gefunden, der sich durch meine Resultate an seinen Kondensatoren geschädigt glaubt, und nun angibt, daß die mir gelieferten Platten infolge eines Versehens bei der Fabrikation ein schlechtes Dielektrikum besäßen. Sofort, nachdem mir Herr Grisson hiervon Mitteilung gemacht hatte — Anfang Oktober — habe ich bei ihm neue, den von Herrn Slaby benutzten, entsprechende Platten bestellt. Herr Grisson versprach, sie mir in kurzer Zeit zu liefern, was keine Schwierigkeiten machen konnte, da die Kondensatoren ja einfach aus runden Blechstücken, die mit einem Gemisch von Paraffin, Harz und Wachs umgossen sind, bestehen. Inzwischen habe ich, trotzdem mir Herr Grisson dreimal — am 5./XI., am 19./XI. und am 7./XII. — die Sendung „in wenigen Tagen" in Aussicht stellte, noch immer keine Platten erhalten: es scheint demnach, daß Herr Grisson vorerst nicht in der Lage ist, mir bessere Platten zu liefern.

Die Unrichtigkeit der Ergebnisse von Herrn Slaby in bezug auf den Frequenzfaktor der Grissonkondensatoren läßt sich aber auch auf andere Art nachweisen. Nach seinen Versuchen nimmt der Frequenzfaktor je zwischen $\frac{\lambda}{2} = 90$ und $\frac{\lambda}{2} = 10$ von 0,91 bei 0,54 ab — nebenbei bemerkt, sehr auffallenderweise genau ebenso wie bei früher von ihm untersuchten Leydner Flaschen —. Die Dielektrizitätskonstante (ε) muß in demselben Verhältnis abnehmen. Das angewandte Dielektrikum bestand, wie gesagt, nach Angabe von Herrn Slaby in einer Mischung von Paraffin, Wachs und Harz. Die Dielektrizitätskonstante dieser Substanzen für langsame Schwingungen liegt zwischen 1,9 und 2,5; nehmen wir als Mittel 2,2, so erhalten wir aus

1) Vgl. M. Wien, diese Zeitschr. **7**, 871, 1906 und C. Fischer, Inaug.-Diss. Straßburg 1906.

γ für die Dielektrizitätskonstante bei schnellen Schwingungen die in der folgenden Tabelle angeführten Zahlen:

Tabelle III.

$\lambda/2$	90	80	70	60	50	40	30	20	10 m
γ	0,91	0,90	0,89	0,875	0,85	0,825	0,78	0,70	0,54
ε	2,00	1,98	1,96	1,92	1,87	1,81	1,71	1,54	1,19

ε sinkt also nicht nur weit unter die theoretische Grenze — Quadrat des Brechungsexponenten ca. 2 — sondern nähert sich sehr dem Wert 1 und, wenn man nicht annehmen will, daß die Kurve des Frequenzfaktors für kleinere Werte als $\lambda/2$ — 10 einen plötzlichen, beinahe rechtwinkligen Knick macht, so kommen wir zu Werten von 5, die unter 1, also unter der Dielektrizitätskonstante des Äthers liegen!

Dies ungemein auffällige Verhalten dieses Dielektrikums erschien einer näheren Untersuchung wert. Ich bestimmte den Frequenzfaktor von Wachs, Harz und Paraffin und verschiedene Mischungen dieser Substanzen; für einige dieser Mischungen sind die Ergebnisse in der folgenden Tabelle angeführt:

Tabelle IV.

$\lambda/2$	$1W1H3P$	$1W1H1P$	$2W2H1P$
72	0,96	0,93	0,92
38	0,95	0,92	0,91
22	0,96	0,94	0,92
13	0,97	0,95	0,93
9,5	0,96	0,94	0,93

Überall ergab sich der Frequenzfaktor und damit die Dielektrizitätskonstante zwar erheblich kleiner als eins, aber innerhalb der verwandten Wellenlängen merklich konstant, die Dielektrizitätskonstante entsprechend der Theorie etwa = dem Quadrat des Brechungsexponenten.[1]) Dasselbe Verhalten hatte ich früher auch bei den mir von Herrn Grisson gelieferten Platten gefunden.

Die von Herrn Slaby beobachtete starke Abnahme des Frequenzfaktors würde unsere theoretischen Anschauungen über die dielektrischen Wirkungen in Isolatoren umstoßen. Bei meiner Untersuchung verschiedener Mischungen derselben Substanzen zeigte sich keine Spur dieser Abnahme: demnach sind die Slabyschen Ergebnisse unrichtig.

Da meist Grissonkondensatoren verwandt wurden, so ist damit zugleich nachgewiesen, daß auch der Wert der dritten Grundkonstanten seiner Arbeit: der Kapazität, äußerst unsicher bestimmt ist.

Zu 8 (II, 9). Die Methode, nach der Herr Slaby den Widerstand von Funkenstrecken untersuchte, war unrichtig, da er zwei Funkenstrecken gleichzeitig in seinem Kondensatorkreis anwandte und diese sich anders verhalten, wie eine einzige. Demgemäß widersprechen seine Resultate den Arbeiten von Drude und von Rempp, indem er zu hohe Werte des Funkenwiderstands erhielt und vor allem eine Verminderung des Funkenwiderstandes bei Verkürzung der Funkenstrecke bis zu Bruchteilen eines mm fand, während tatsächlich der Funkenwiderstand von 3—5 mm abwärts stark zunimmt. Herr Slaby erwidert hierauf nichts, bemängelt jedoch meine Bemerkung, daß er aus den Arbeiten von Drude und Rempp nur solche Ergebnisse angeführt hätte, welche mit den seinigen übereinstimmen, die obigen grundsätzlichen Unterschiede verschwiegen hätte. Das einzige, was Herr Slaby dagegen anführt, ist folgende Stelle seiner Arbeit: „Inzwischen sind nun zwei tiefergehende Arbeiten von P. Drude und H. Rempp über die Dämpfung von Kondensatorkreisen mit Funkenstrecken erschienen, welche über die Verhältnisse neues Licht verbreiten." Wie jemand hieraus entnehmen soll, daß die Slabyschen Resultate unrichtig sind, ist mir unerfindlich: man kann z. B. sagen, daß Newtons Arbeiten über die Gravitation tiefer gehen als die von Keppler und über die Verhältnisse neues Licht verbreiteten; damit ist aber nicht gesagt, daß die Kepplerschen Gesetze dem Gravitationsgrad widersprechen und falsch sind.

Daß Herr Slaby den angeführten Satz für einen genügenden und „redlichen" Hinweis auf die genannten Widersprüche ansieht, ist sehr bezeichnend.

Zu 9. Herr Slaby räumt jetzt die Priorität der Versuche Marconis über abgestimmte Telegraphie ein, fügt jedoch hinzu, daß er sie nicht verschwiegen hätte. Damit ist wohl die kurze Anmerkung in der Veröffentlichung seines Vortrags vom Dezember 1900 gemeint. Warum er sie 1900 erwähnt, 1904 jedoch verschweigt, ist nicht ersichtlich. Erschwerend wirkt, daß er sie nicht nur verschwiegen hat, sondern etwas Positives mit den Worten hinzufügt: „Seither ist es auch andern gelungen, das Experiment unter gleich günstigen Bedingungen zu wiederholen."

Eine richtige Darstellung des Herganges würde also folgende sein: „Die ersten gelungenen Versuche über abgestimmte Funkentelegraphie sind von Marconi im Sommer 1900 angestellt und ein ausführlicher Bericht darüber von O. A. Fleming im Electrician veröffentlicht. Nachher haben Slaby und Graf Arco mit eignen Anordnungen auf kürzere Entfernung das Experiment unter gleich günstigen Bedingungen wiederholt."

Ich glaube im vorstehenden den Nachweis erbracht zu haben, daß miene Kritik der Slaby-

1) Vgl. auch H. Rubens, Wied. Ann.

schen Arbeit in allen Punkten berechtigt, in vielen noch zu milde war.

Überblickt man das Ganze, so kann man sich des Eindrucks nicht erwehren, daß die Arbeitsmethode von Herrn Slaby hier nicht denjenigen Anforderungen entspricht, die man an exakte wissenschaftliche Arbeiten zu stellen berechtigt ist. Aus Inhalt und Form seiner Entgegnung geht dies vielleicht noch deutlicher hervor, wie aus der Arbeit selbst.

Physik. Inst. d. Techn. Hochschule Danzig. 15. Dezember 1906.

(Eingegangen 15. Dezember 1906.)

Ein Lichtrelais.

Von A. Korn.

Die neuesten Fortschritte der elektrischen Fernphotographie[1]) habe ich mit Hilfe zweier neuer Apparate erzielt, mit Hilfe eines Lichtrelais und mit Hilfe des Selenkompensators, deren Beschreibung ich hier gesondert geben will, um in einer der nächsten Nummern bei der Beschreibung der neuen Anordnung der elektrischen Fernphotographie nicht mehr auf nähere Angaben in bezug auf diese neuen Apparate eingehen zu brauchen.

Das Lichtrelais[2]) hat den Zweck, sehr kleine, rasch aufeinander folgende Änderungen eines elektrischen Stromes zu benützen, um auf einen bestimmten Flächenteil eines Schirmes Lichtstrahlen fallen zu lassen, deren Intensitätsänderungen den Stromschwankungen entsprechen, so daß z. B. die Lichtintensitäten entsprechend größer oder kleiner werden, je nachdem die elektrischen Ströme größer oder kleiner sind.

Das Lichtrelais, welches sich nun für die Zwecke der Telautographie, sowie die Zwecke der elektrischen Fernphotographie als besonders zweckmäßig erwiesen hat, ist in folgender Weise konstruiert:

Man spannt zwischen den Polen eines kräftigen Elektromagneten NS (Fig. 1), wie bei den Saitengalvanometern, zwei dünne Metallfäden a und a', welche an den Stiften q und q' befestigt sind und mittels dieser Stifte auch mehr oder weniger gespannt werden können. Die Polschuhe des Magneten sind mit zwei Öffnungen O und O_1 versehen, durch welche Lichtstrahlen in der Richtung pp_1 hindurchgesandt werden

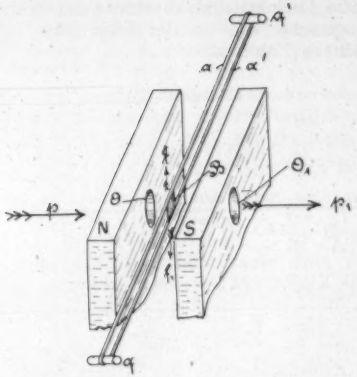


Fig. 1.

können. Auf die beiden Fäden a und a' ist in der Mitte zwischen den Öffnungen O und O_1 ein dünnes Aluminiumblättchen B aufgeklebt. Je nach den durch die Fäden a und a' hindurchgeleiteten elektrischen Strömen wird das Aluminiumblättchen mehr oder weniger in der Richtung f bzw. f_1 abgelenkt. Damit die Ablenkung möglichst exakt in der zu den Lichtstrahlen senkrechten Richtung erfolge, verwendet man am besten an Stelle der Metallfäden möglichst dünne Metallbändchen[1]), deren Ebene normal zu der Richtung pp_1 ist.

Man kann offenbar durch die Ausschläge des Aluminiumblättchens erreichen, daß von dem Lichte, welches durch die Öffnungen O und O_1 in der Richtung pp_1 auf einen Schirm fällt, mehr oder weniger abgeblendet wird.

Wir zeigen in Figur 2 eine Anwendung, bei welcher die Lichtschwankungen wieder zur Erzeugung von Stromschwankungen benützt

Fig. 2.

werden. Das Licht einer konstanten Lichtquelle J wird durch eine Sammellinse L_1 auf das Aluminiumblättchen B konzentriert und dann durch eine zweite Linse L_2 mit Hilfe eines Lichtverteilers, der aus der Spiegelanordnung $s_1 s_2$ und einer Anzahl schmaler Zylinderlinsen G besteht, auf eine Selenzelle Se ausgebreitet, die nunmehr je nach den Ausschlägen des Blättchens B mehr oder weniger Licht erhält und einem durch die Zelle geleiteten Strome mehr oder weniger Widerstand entgegensetzt.

1) Die Mitwirkung meines Assistenten, Herrn Ingenieurs Gustav Will, bei meinen auf die Fernphotographie bezüglichen Versuchen möchte ich auch an dieser Stelle besonders hervorheben.

2) Galvanometer, welche für die obige Anwendung geeignet sind, werden von dem Physikalisch-mechanischen Institut von Professor Dr. M. Th. Edelmann, München, Nymphenburgerstraße 82, gefertigt.

1) Die bisher verwandten Dimensionen dieser Bändchen sind: Dicke 0,01 mm, Breite 0,25 mm, Länge 6 cm, Widerstand 0,75 Ω.

Eine weitere Anwendung des Lichtrelais kann darin bestehen, daß man die durch die Ausschläge des Blättchens B getönten Lichtintensitäten auf einen Punkt konzentriert und auf einem fortlaufenden Film photographiert. Am zweckmäßigsten ist es bei dieser Anwendung, die Öffnung, von welcher das Blättchen B mehr oder weniger Licht abblendet, in die Ebene des von der Linse L_2 entworfenen vergrößerten, reellen Bildes des Blättchens B zu verlegen.

Das Lichtrelais läßt noch eine ganze Anzahl weiterer Anwendungen zu, doch werden bei der Neuanordnung der elektrischen Fernphotographie nur die beiden soeben erwähnten Anwendungen in Betracht kommen.

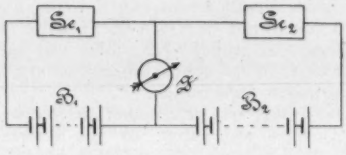
München, November 1906.

(Eingegangen 28. November 1906.)

Der Selenkompensator und seine elementare Theorie.

Von A. Korn.

Seien B_1 und B_2 zwei gleiche Sammlerbatterien mit der Polspanung e; dieselben seien in Serie und in die Leitung zweier Selenzellen Se_1 und Se_2 geschaltet. In der Brücke, deren einer Endpunkt zwischen den beiden Selenzellen, und deren anderer Endpunkt zwischen den beiden Batterien liegt, befinde sich ein Galvanometer g, welches ähnlich, wie dies in dem vorangehenden Artikel beschrieben ist, seinen Ausschlägen entsprechend die Selen-



zelle Se_2 belichtet. Bezeichnen wir mit w_1 und w_2 die Widerstände der Zellen Se_1 und Se_2, nehmen alle übrigen in Betracht kommenden Widerstände klein gegen w_1 und w_2 an, dann ist, wenn wir den Ausschlag α des Galvanometers g (Ablenkung des in dem vorangehenden Artikel genannten Aluminiumblättchens aus der Ruhelage) dem Strom in der Brücke proportional annehmen können,

$$1) \qquad \alpha = ce\left(\frac{1}{w_1} - \frac{1}{w_2}\right)$$

wo c eine dem Galvanometer zugehörige Konstante vorstellt. Im besonderen ist, wenn wir zwei Zellen mit gleichen Dunkelwiderständen haben, was bei verschiedenen Zellen durch Hinzuschaltung eines geeigneten Zusatzwiderstandes erreicht werden kann,

$$\alpha = 0,$$

solange die Zelle Se_1 unbelichtet ist und auch das Galvanometer g so eingestellt wird, daß Se_2 unbelichtet bleibt, solange die Brücke stromlos ist. Was geschieht nun, wenn wir die Zelle Se_1 belichten? Der Widerstand von Se_1 wird kleiner, es wird somit ein Strom durch die Brücke gehen, der Ausschlag des Galvanometers ist, wie bereits bemerkt,

$$\alpha = ce\left(\frac{1}{w_1} - \frac{1}{w_2}\right).$$

Das Galvanometer ist nun so eingestellt, daß infolge des Stromes in der Brücke die Selenzelle Se_2 Licht erhält, welches in seiner Intensität dem Ausschlage des Galvanometers proportional ist; auf diese Weise wird nun auch der Widerstand von Se_2 verringert, so daß also gleichzeitig auch ein dem früheren entgegengesetzter Strom in die Brücke gesandt wird. Es ist nun die Aufgabe des Apparates, die wirklich in der Brücke entstehenden Ströme, welche durch den Ausschlag des Galvanometers g gemessen und noch zu anderen Funktionen verwendet werden können, den augenblicklichen Belichtungen der Zelle Se_1 proportional zu machen, trotz der den Selenzellen eigentümlichen Trägheit, d. h. trotz der Eigenschaft derselben, in ihren Widerstandsänderungen nicht mit den augenblicklichen Belichtungen proportional zu gehen, sondern den Eindruck früherer Belichtungen ein wenig zurückzuhalten.

Wenn die Widerstandsänderungen der Zellen durch Belichtungen $\mathcal{J}$ im Verhältnis zu den mittleren Widerständen der Zellen unterhalb gewisser Grenzen bleiben, kann man die Gleichung ansetzen:

$$2) \qquad \frac{1}{w_1} = \frac{1}{w_{10}} + c_1\mathcal{J} + C_1\mathcal{J}',$$

wo $w_{10} c_1 C_1$ der Zelle eigentümliche Konstanten und $\mathcal{J}$ eine Größe ist, welche von der der Zelle eigenen Trägheit herrührt; über diese Größe wollen wir nur voraussetzen — eine Voraussetzung, welche ich durch die Erfahrung in gewissen Grenzen bestätigt fand —, daß sie von den früheren Belichtungen linear abhängig ist, d. h. in solcher Weise, daß, wenn sämtliche Belichtungen in einem konstanten Verhältnis vergrößert werden, auch $\mathcal{J}$ in demselben Verhältnis vergrößert wird.[1])

1) Diese Voraussetzung, nach welcher in das Selengesetz nur 2 Konstanten c_1 und C_1 eingehen (Empfindlichkeits- und Trägheitskonstante), sind nur in gewissen Grenzen in der Nähe ganz bestimmter Belichtungen gültig, in wesentlich weiteren Grenzen scheint das folgende Gesetz zu gelten:

$$2') \qquad \left|\frac{1}{w_1}\right|_t = \left|\frac{1}{w_1}\right|_{t_0} + \int_{t_0}^{t} \frac{d\mathcal{J}}{d\tau} f(t-\tau)\, d\tau$$

wo $f(t-\tau)$ eine mit wachsendem $t-\tau$ rasch abnehmende

Wir haben dann die drei Gleichungen:

$$3)\quad \begin{cases} a = ce\left(\dfrac{1}{w_1} - \dfrac{1}{w_2}\right), \\ \dfrac{1}{w_1} = \dfrac{1}{w_{10}} + c_1\mathfrak{J} + C_1\mathfrak{J}', \\ \dfrac{1}{w_2} = \dfrac{1}{w_{20}} + \gamma(c + C_2 a'), \end{cases}$$

wo $w_{20}c_2C_2$ Konstanten der Zelle Se_2, γ eine der Anordnung des Lichtrelais zugehörige Konstante, a' eine von der Trägheit der Zelle Se_2 herrührende Größe ist, welche von den zeitlich vorangegangenen Galvanometerausschlägen abhängt. w_{10} kann durch Hinzufügung eines geeigneten Zusatzwiderstandes $= w_{20}$ gemacht werden.

Es ist dann in allererster, grober Annäherung, wenn man $\mathfrak{J}'$ und a' vernachlässigt:

$$a = ce\{-\gamma c_2 a + c_1\mathfrak{J}\},$$

also

$$4)\quad a = \frac{cc_1e}{\gamma cc_2e + 1}\mathfrak{J}$$

in erster Anäherung mit $\mathfrak{J}$ proportional. Es handelt sich jetzt um eine zweite Annäherung; da in erster Annäherung die Ausschläge a mit den Belichtungen $\mathfrak{J}$ der Zelle Se_1 proportional sind, kann man, ohne die zweite Annäherung zu verletzen, bei den gemachten Voraussetzungen

$$5)\quad a' = \frac{cc_1e}{\gamma cc_2e + 1}\mathfrak{J}$$

setzen. Wir erhalten dann das frühere Resultat wieder, d. h. die Trägheitsglieder heben sich fort, wenn

$$\gamma C_2 a' = C_1\mathfrak{J}',$$

wenn also die Konstanten der Anordnung so gewählt werden, daß

$$6)\quad \gamma = \frac{C_1}{C_2}\cdot\frac{\gamma cc_2e + 1}{cc_1e}.$$

Dies läßt sich, auch wenn die Zellen Se_1 und Se_2 nicht gleichartig sind, dadurch erreichen, daß man die Konstante γ, also die Belichtungen von Se_2, durch das Galvanometer g durch zweckmäßige Einstellung einer Linse (L_1 in der Fig. 1 des vorangehenden Artikels) gehörig wählt.[1]) Die richtige Einstellung erkennt man an der wesentlichen Verminderung des Nachkriechens des Galvanometers, bei einem Wechsel der Belichtung auf einen konstanten Endwert.

Es handelt sich natürlich hier nur um eine elementare Theorie, die in einer gewissen Annäherung bei nicht zu großen Widerstandsänderungen gültig ist, es ist aber selbstverständlich, daß man auch, wenn für das Selengesetz — bei größeren Widerstandsänderungen — nicht mehr die obigen einfachen Voraussetzungen zugrunde gelegt werden können, z. B. dadurch nachhelfen kann, indem man die Belichtungen von Se_2 nicht den Ausschlägen von g proportional macht, sondern in eine erfahrungmäßig zu bestimmende Abhängigkeit von a durch Einschaltung von getönten Blenden bringt; für die Zwecke der Fernphotographie hat sich bis jetzt die einfache Theorie bewährt, und auch für die Photometrie wird man zunächst, wenn man nicht gar zu hohe Anforderungen an die Genauigkeit der Messungen stellt, mit der einfachen Anordnung auskommen.

München, November 1906.

(Eingegangen 28. November 1906.)

Funktion ist. Ich hoffe, bei einer späteren Gelegenheit auf die Diskussion der wahrscheinlichsten Form für die Funktion f zurückzukommen.

1) Man kann natürlich auch andere Mittel anwenden, um die Gleichung 6 zu erlangen, z. B. die Einschaltung von Widerständen parallel zu den Selenzellen.

Über Wirkungen der elektrischen Entladung auf die Acetylenflamme.

(Vorläufige Mitteilung.)

Von C. F. Lorenz.

Vor einiger Zeit hatte ich Gelegenheit, durch eine zylindrische Leuchtgasflamme die Entladung eines Induktors zu schicken, dessen Primärkreis mit Wechselstrom gespeist wurde. Dabei wurde meine Aufmerksamkeit von einer geringen Zunahme der Helligkeit und der Weiße der Flamme in Anspruch genommen, einer Erscheinung, die zweifellos allgemein beobachtet worden ist. Die Anordnung konnte mit Leichtigkeit so getroffen werden, daß die Veränderung sich ganz deutlich ausprägte. Als ich dann den Versuch mit Acetylen wiederholte, war die Wirkung viel größer. Es schien mir daher der Mühe wert, zu versuchen, die möglichst günstigen Bedingungen aufzufinden.

Das erste, was ich neben der Veränderung des Lichtes wahrnahm, ist die überraschend große Menge von Ruß, die sich auf den Elektroden niederschlägt. Wenn der Brenner aus Metall besteht und die eine Elektrode bildet, während die andere aus einem Drahte besteht, der in die Flammenspitze gehalten wird, so bildet sich sehr bald zwischen beiden eine Brücke von Ruß, welche die Entladung unterbricht. Diesen Niederschlag von Ruß hat bereits Semenov in seinem Bericht[1]) über die Versuche erwähnt, welche er über den Durchgang eines Funkens durch Leuchtgasflammen angestellt hat. Er verwandte bei diesen Untersuchungen Bunsenflammen und stellte fest, daß die Entladung durch den äußeren nichtleuchtenden Flammenmantel hindurch übergeht, welcher

1) J. Semenov, C. R. **134**, 1199, 1902.

dabei mit einem purpurfarbenen Lichte zu leuchten beginnt, das dem Lichte einer Geißlerschen Röhre bei niedrigem Vakuum ähnlich ist. Bei den vorliegenden Untersuchungen benutzte ich eine leuchtende, d. h. kohlenstoffhaltige Flamme, bei welcher die vom Kohlenstoff herrührende Lichtwirkung die des äußeren Mantels weit übertraf. Es zeigte sich, daß der Ruß einfach dadurch vollkommen vermieden werden konnte, daß man die Elektroden außer Berührung mit dem leuchtenden Teile der Flamme hielt und sie nur die unsichtbare Flammenhülle berühren ließ. Da dieses Verfahren eine gewisse aus der Achse fallende Anordnung der Elektroden bedingt, so zeigt naturgemäß die Entladung das Bestreben, unsymmetrisch zu werden. Ordnet man aber die Elektroden in der Weise an, wie sie aus den Photographien ersichtlich ist, nämlich so, daß sich die eine Elektrode in der Nähe der Flammenbasis und die andere auf der gegenüberliegenden Seite in der Nähe des mittleren oder oberen Flammenteiles befindet, so erhält man eine Entladung, die sehr angenähert symmetrisch ist, vorausgesetzt, daß der Gasstrom unter beträchtlichem Druck aus einer kleinen Öffnung austritt. Es bietet keinerlei Vorteil, die Spitzen durch Ringe zu ersetzen, welche die Flamme umgeben; in diesem Falle erfolgt nämlich die Entladung von einem Punkte des Ringes aus. Indessen kann man die Entladung zwischen zwei oder mehr Elektroden an jedem Ende unterteilen, wenn man jede mit einem besonderen Beruhigungswiderstande versieht (bezw. mit einer Induktanz, falls man mit Wechselstrom arbeitet). Bei allen in der vorliegenden Mitteilung geschilderten Versuchen ist die einfachere Anordnung verwendet worden, bei welcher sich Elektroden mit je einer Spitze am Fuße und in der Mitte der Flamme befanden. Die hier beschriebenen Versuche sind als vorläufige gedacht und sollten dazu dienen, die auffallendsten charakteristischen Züge der Erscheinung zu zeigen. Als Elektroden dienten dabei Messingdrähte von 3 mm Durchmesser, an die eine stumpfe Spitze angefeilt war. Das zur Verwendung gelangende Gas war ungereinigtes Acetylen.

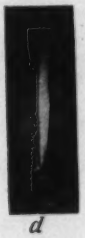
Die beiden Photographien *a* und *b* zeigen,

a

b

daß die Entladung von einer Verkürzung der Flammen begleitet ist. *a* stellt die unbeeinflußte Flamme dar und *b* dieselbe Flamme, während sie einen Wechselstrom von 60 Perioden und mehreren Hundertsteln Ampere führt; in letzterem Falle ist die Lichtstärke der Flamme ungefähr fünfmal so groß wie ohne die Entladung. Die beiden Photographien *c* und *d* sollen die Wirkung

c



d

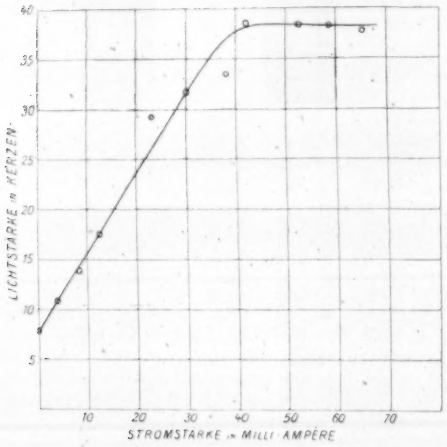
zeigen, welche man erhält, wenn man die Stromstärke bis auf einen Wert steigert, der hinreichend groß ist, um die Bildung eines Metallichtbogens zu bewirken. *c* wurde aufgenommen, während die Stromstärke den kleinsten Wert hatte, bei welchem noch die höchste Lichtstärke erhalten wurde. Die Aufnahme *d* zeigt die Bogenbildung an den Elektroden; sie wurde gewonnen, während die Stromstärke ungefähr zweimal so groß war; dabei blieb die Lichtstärke praktisch unverändert. Wenn man die Flamme in einem rotierenden Spiegel beobachtet, so sieht man, daß sie sich bei jedem Entladungsdurchgang verkürzt und aufhellt. Dieses Verhalten geht aus den Photographien *e*, *f* und *g*

e

f

g

hervor. Diese Photographien wurden in der Weise aufgenommen, daß die lichtempfindliche Platte während der Belichtung schnell in seitlicher Richtung bewegt wurde. Bei der Aufnahme f war die Stromstärke hinreichend groß, um die höchste Lichtstärke zu liefern, während sie bei der Aufnahme e etwas kleiner war. Die Photographien weisen darauf hin, daß an einer Elektrode und in ihrer Umgebung eine höhere Temperatur erreicht wird, wenn die Elektrode das eine Vorzeichen hat, als wenn sie das entgegengesetzte hat. Die Flamme gibt natürlich einen summenden Ton.



Die vorstehende Kurve stellt die Ergebnisse eines Versuches dar, welcher unter den folgenden Bedingungen ausgeführt wurde:

Flammenhöhe: 59 mm,
senkrechter Abstand zwischen den Elektroden: 24 mm,
Höhe der unteren Elektrode über der Brenneröffnung: 3 mm,
Gasdruck: 151 mm Wasser,
Ausströmungsgeschwindigkeit des Gases: 0,34 Kubikfuß in der Stunde.

Die Lichtstärken wurden durch Vergleichung mit einer geeichten Glühlampe an einem Bunsenschen Fettfleckphotometer bestimmt. Die Stromstärken wurden durch ein Hitzdraht-Instrument gemessen. Der Strom wurde von zwei Umformern geliefert, deren lange Wicklungen in Reihe geschaltet waren; sie brachten so die Netzspannung von 100 Volt auf 4000 Volt. Die Stromstärke wurde mittels eines Rheostaten reguliert, der mit den — zueinander parallel geschalteten — Primärspulen der Umformer in Reihe geschaltet war. Dieser Rheostat diente dabei zugleich als Beruhigungswiderstand.

Aus der Kurve ist ersichtlich, daß die Lichtstärke von 7,5 Kerzen bis zu einem Grenzwerte von 38,0 Kerzen anstieg. Dieser Zuwachs der (horizontalen) Lichtstärke um 31,5 Kerzen wird erhalten durch die Abgabe von 122 Watt — oder ungefähr 4 Watt für jede Kerze — an die Flamme.

Die Spannungsdifferenz zwischen Elektroden, welche mittels eines Voltmeters an der Seite geringerer Spannung gemessen wurde, nahm mit steigender Stromstärke anfangs zu, wie bei einem gewöhnlichen Widerstand, und darnach ab, wie bei einem Lichtbogen. Sie erreichte jedoch ihren Höchstwert lange bevor an den Elektroden eine merkliche Lichtbogenbildung auftrat. Dieser Höchstwert betrug 3000 Volt und die entsprechende Stromstärke 11 Milliampere.

Ich untersuchte gleichfalls den Einfluß eines Gleichstromes auf die Flamme. In diesem Falle bestand die Stromquelle aus mehreren kleinen Gleichstrommaschinen, deren Armaturen in Reihe geschaltet waren, und die zusammen eine Spannung von ungefähr 2500 Volt lieferten. Ich erhielt ein fast geräuschloses, stetiges Licht. Die Versuche mußten jedoch unterbrochen werden, bevor irgendwelche Messungen ausgeführt werden konnten.

Eine solche Acetylenflamme, die einen Strom trägt, stellt eine bequeme Lichtquelle für weißes Licht dar, die im violetten Spektralgebiet reich an Strahlung ist. Außerdem bieten sich noch mehrere andere mehr oder minder nützliche Verwendungsarten dar. Bei Verwendung von Gleichstrom kann man die Flamme in den verschiedenen Fällen[1]) benutzen, in denen es wünschenswert ist, schnelle Änderungen in der Intensität einer Lichtquelle durch schwache Ströme zu bewirken, wie etwa durch Mikrophonströme, oder durch Ströme, die von einer Stimmgabel unterbrochen werden. In diesem Falle schaltet man die Sekundärwicklung einer Induktionsspule, welche zu gleicher Zeit als Beruhigungswiderstand dient, mit der Flamme in Reihe und läßt die Änderungen oder die Unterbrechungen im Primärkreise erfolgen. Ähnliche schnelle Änderungen in der Lichtstärke wie mit einer gewöhnlichen Flamme kann man auch unter Verwendung einer Königschen Manometerkapsel erhalten. Die Flamme arbeitet gut als Telephonempfänger; dabei ist die Anordnung offenbar verschieden von der des Herrn Ruhmer[2]) sowie auch von der der Herren Gabritschewski und Batschinski[3]) und

1) Siehe z. B. E. Ruhmer, Kinematographische Flammenbogenaufnahmen und das Photographon, Ann. d. Phys. (4) **5**, 803, 1901.

2) E. Ruhmer, diese Zeitschr. **2**, 325, 1901.

3) Gabritschewski und Batschinski, Ann. d. Phys. (4) **11**, 223, 1903.

ähnelt mehr der des sprechenden Lichtbogens des Herrn Simon.[1]) Selbst bei Verwendung einer kleinen Flamme konnte die Sprache in einiger Entfernung von der Flamme deutlich verstanden werden und hatte eine klare, natürliche Klangfarbe. Einen wirksamen telephonischen Übertrager erhielt ich, wenn die Flamme durch Vermittelung einer Manometerkapsel gespeist wurde, und die Wörter in diese hineingesprochen wurden. Der Empfänger war hier mit der kurzen Wicklung einer Induktionsspule verbunden, dessen lange Wicklung mit der Flamme in Reihe geschaltet war. Dabei war es erforderlich, das von den Schwankungen des Dynamostromes herrührende Geräusch im Empfänger unter Anwendung eines Kondensators und einer Drosselspule zu beseitigen.[1])

Ich möchte auch an dieser Stelle Herrn Professor K. E. Guthe für die freundliche Anregung und für das überaus lebhafte Interesse, welches er diesen Untersuchungen von Anfang an entgegengebracht hat, meinen besten Dank aussprechen.

1) H. Simon, Wied. Ann. **64**, 233, 1898.

1) W. Duddell, Electrician **46**, 269, 1900. — H. Simon, diese Zeitschr. **2**, 258, 1901.

State University of Jowa, Jowa City, September 1906.

(Aus dem Englischen übersetzt von Max Iklé.)

(Eingegangen 14. November 1906.)

VORTRÄGE UND DISKUSSIONEN VON DER 78. NATURFORSCHERVERSAMMLUNG ZU STUTTGART.

L. Prandtl (Göttingen), Neue Untersuchungen über die strömende Bewegung der Gase und Dämpfe.

Meine Herren! Der Aufschwung des Dampfturbinenbaus in den letzten Jahren hat das Bedürfnis nach einer möglichst vollständigen Theorie der strömenden Bewegung der Gase und Dämpfe wachgerufen. Und in der Tat sind bereits zahlreiche Arbeiten, teils experimenteller, teils theoretischer Art erschienen, die unsere Kenntnis über diesen Gegenstand wesentlich gefördert haben.

Viel früher schon hatte man das speziellere Problem des Ausflusses aus Gefäßen studiert[1]) und dabei u. a. die bemerkenswerte Tatsache gefunden[2]), daß die Geschwindigkeit an der engsten Stelle der Ausflußöffnung nie größer werden kann als die Schallgeschwindigkeit, die dem dortigen Zustand des Gases entspricht. Hieraus, und aus dem Umstand, daß in dem ausfließenden Gasstrahl Wellen beobachtet worden sind, die man als einfache Schallwellen deutete[3]), hat sich die merkwürdige Legende ausgebildet, daß bei der Gasströmung durch ruhende Röhren und Gefäße nie eine größere Geschwindigkeit als Schallgeschwindigkeit entstehen könne. Diese Anschauung hat jetzt noch einen eifrigen Verfechter in Herrn A. Fliegner[4]) (Zürich), obwohl sie bereits durch die Stodolaschen Messungen des Druckverlaufs in strömendem Dampf, und durch ähnliche Versuche, widerlegt worden ist.

Ich möchte mir nun hier erlauben, meine Herren, Ihnen die Ergebnisse von neuen Versuchen vorzuführen, die durch ihre Übereinstimmung mit der jetzt gebräuchlichen Theorie einen Zweifel über deren Richtigkeit nicht mehr zulassen dürften.

Vorab möchte ich etwas über diese Theorie sagen, und beschränke mich dabei hier auf die stationäre und widerstandslose (adiabatische) Bewegung, bei der in jedem Gasteilchen die Summe von kinetischer und potentieller Energie konstant ist.

Betrachtet man hier die Querschnittsänderungen in einem Stromfaden, so findet man, daß bei sinkendem Druck der Querschnitt zunächst infolge des Anwachsens der Geschwindigkeit abnimmt, bei weiterer Expansion aber wieder zunimmt, weil nun das Anwachsen des Volumens das der Geschwindigkeit übertrifft. Das Querschnittsminimum, das ungefähr bei der Expansion auf den halben Anfangsdruck eintritt, fällt, wie sich allgemein beweisen läßt, zusammen mit der Stelle, wo die Strömungsgeschwindigkeit die Schallgeschwindigkeit überschreitet.

Diese Schallgeschwindigkeitsgrenze ist für die Bewegungsformen der „elastischen Flüssigkeiten" von der größten Bedeutung. Während unter dieser Grenze der Charakter der Bewegung ähnlich dem der inkompressiblen Flüssigkeiten ist, finden wir bei Überschallgeschwindigkeit stationäre Schallwellen und Unstetigkeiten der verschiedensten Art. Während bei

1) Ein ausführliches historisch-kritisches Referat über diesen Gegenstand hat der Verfasser in der „Mathematischen Encyklopädie" Band V, No. 5b, gegeben, auf das hier verwiesen sein mag.
2) O. Reynolds (1886) und Hugoniot (1886).
3) Parenty (1894), R. Emden 1899.
4) Vgl. z. B. Schweiz. Bauzeitg. 47 (1906) Nr. 3, 4 u. 9.

Unterschallgeschwindigkeit ein Hindernis einen stetig verlaufenden Stau hervorruft, in dem die Strömung zur Seite abgelenkt wird, rennt das mit Überschallgeschwindigkeit begabte Gas blind [1]) bis an das Hindernis heran und wird dann in einem unstetigen Stoßvorgang zum Ausweichen gezwungen. In der Sprache der Mathematiker drückt sich der in Rede stehende Unterschied dadurch aus, daß die Differentialgleichung für die Strömung unter der Schallgeschwindigkeit elliptischen, über der Schallgeschwindigkeit hyperbolischen Charakter hat.[2])

Die Strömung durch eine vorgegebene Röhre läßt sich unter der Annahme gleichförmiger Geschwindigkeitsverteilung über den Querschnitt für jeden gegebenen Anfangs- und Enddruck berechnen.[3])

Sie sehen in Fig. 1 den Druckverlauf für eine Lavaldüse bei festgehaltenem Anfangsdruck p_1 und veränderlichem Enddruck p_2 dargestellt,

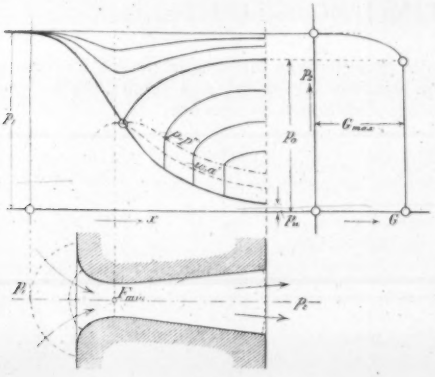


Fig. 1.

wie ihn die Theorie unter obiger Annahme liefert. Neben den stetigen Strömungsvorgängen, die sich bei der normalen Expansion ($p_2 = p_u$) oder auch bei so hohen Gegendrücken einstellen, daß die Schallgeschwindigkeit nicht erreicht wird ($p_2 > p_a$), finden sich unstetige, bei denen eine plötzliche Kompression mit stoßartigem Übergang von Überschallgeschwindigkeit zu Unterschallgeschwindigkeit auftritt. Statt dieses unstetigen Verlaufs erhält man einen stetigen, wenn man die Wärmeleitung im Gase berücksichtigt.[1]) Die Dicke der Übergangsschicht ergibt sich dabei aber als außerordentlich gering (bei mittleren Verhältnissen erhält man Dicken in der Gegend von $^1/_{1000}$ mm oder darunter).

Ich möchte noch darauf aufmerksam machen, daß, so lange im engsten Querschnitt die Schallgeschwindigkeit nicht erreicht ist, der Druck, und daher auch die Geschwindigkeit, im ganzen Rohr veränderlich sind; sobald jedoch die Schallgeschwindigkeit erreicht ist, ist oberhalb der Stoßstelle alles unveränderlich geworden. Die Ausflußmenge, die in Figur 1 rechts in ihrer Abhängigkeit vom Druck hinter der Düse (p_2) dargestellt ist, ist erst veränderlich, dann aber, sobald an der engsten Stelle Schallgeschwindigkeit herrscht, unveränderlich. Diese Beziehung ist durch alle bezüglichen Versuche wohl bestätigt worden.[2])

Zum Vergleich mit dem theoretischen Bild will ich hier (Fig. 2) die Stodolasche Abbildung[3])

1) Da sich das Gas hier mit größerer Geschwindigkeit bewegt, als sich Druckänderungen fortpflanzen, kann es sozusagen von vorne keinerlei Meldungen über etwaige Hindernisse und dergl. erhalten.

2) Die Differentialgleichung der ebenen wirbelfreien Bewegung (u und v Geschwindigkeitskomponenten, $a = f(u^2+v^2)$ = Schallgeschwindigkeit, $\frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\partial v}{\partial x}$) lautet:

$$\frac{\partial u}{\partial x}\left(1-\frac{u^2}{a^2}\right)+\frac{\partial v}{\partial y}\left(1-\frac{v^2}{a^2}\right)-\frac{uv}{a^2}\left(\frac{\partial u}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial x}\right)=0.$$

3) Zeitschr. d. Vereins deutsch. Ing., 1904 S. 348.

1) Zeitschr. f. d. gesamte Turbinenwesen, 1906, S. 241.
2) Vgl. z. B. Gutermuth und Blaeß, Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing., 1904, S. 75.
3) Die Figur ist dem Stodolaschen Werk „Die Dampfturbinen" (Berlin 1905) S. 49 entnommen; gegenüber unserem Koordinatensystem ist links und rechts vertauscht.

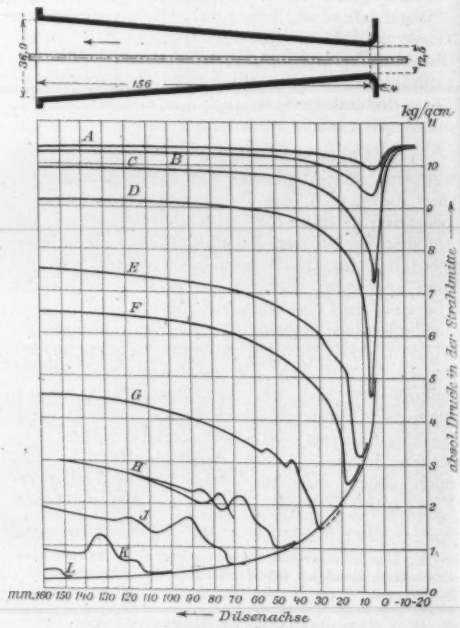


Fig. 2.

über seine Druckmessungen an einer Lavaldüse zeigen. Sie werden bei großer Ähnlichkeit im allgemeinen Typus verschiedene Abweichungen gegenüber der theoretischen Figur bemerken. Zunächst ist bei der Stodolaschen Düse der Querschnittsübergang erheblich schroffer, daher sind auch die Linien steiler. Dies ist somit keine wesentliche Abweichung. Wesentlich ist, daß, besonders bei den niedrigen Gegendrücken, statt des senkrechten Sprunges eine mehr oder minder allmähliche Druckanschwellung tritt, zum Teil mit deutlich ausgebildeten Wellen. Hierzu ist zu sagen, daß hier unsere Annahme, daß der Strahl den Querschnitt vollständig ausfüllt, nicht mehr zutrifft; im Gegenteil werde ich Ihnen zeigen können, daß in Wirklichkeit der Strahl an der Stoßstelle sich von der Wand ablöst und von da ab den Querschnitt nicht mehr gleichmäßig erfüllt. Daß dann von dieser Stelle an keine volle Übereinstimmung mit der einfachen Theorie mehr vorhanden ist, ist natürlich klar.

Ich wende mich nun zu den Wellen verschiedener Art, die bei Überschallgeschwindigkeit auftreten. Zunächst erinnere ich an ein ähnliches Phänomen, die von E. Mach entdeckten Wellen, die ein Geschoß hervorruft, das sich durch ruhende Luft mit größerer als Schallgeschwindigkeit bewegt. Es zieht kegelförmige Wellen nach sich von der Form, wie sie in Figur 3 angedeutet ist. Der halbe Kegelwinkel α erfüllt dabei die Beziehung

$$\sin\alpha = \frac{a}{w}$$

(a Schallgeschwindigkeit, w Geschoßgeschwindigkeit).

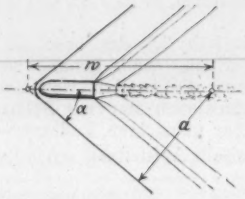


Fig. 3.

In unserm Falle handelt es sich um das Umgekehrte: die Luft zieht mit Überschallgeschwindigkeit an einem ruhenden Hindernis vorbei. Dabei wird jetzt vom Hindernis eine im Raum ruhende Schallwelle ausgehen, die an jedem Punkt gegen die Strömungsrichtung um denselben Winkel $\alpha = \arcsin\frac{a}{w}$ geneigt ist, nur daß w jetzt die Strömungsgeschwindigkeit ist (Fig. 4). Strömt das Gas zwischen zwei Wänden hindurch, die mit Unebenheiten besetzt

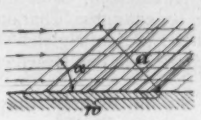


Fig. 4.

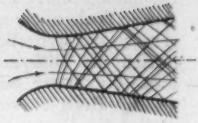


Fig. 5.

sind, so durchkreuzen sich die zwei Wellensysteme (Fig. 5). Durch Beobachtung dieser Wellen hat man ein Mittel, mittels ihres Winkels das Verhältnis $\frac{a}{w}$, ferner durch die Winkelhalbierende die genaue Strömungsrichtung zu finden. Wir haben dieses Mittel in Göttingen angewandt und recht befriedigende Übereinstimmung mit der Theorie erhalten; doch sind diese Versuche noch nicht abgeschlossen.

Soviel über die Wellen mit kleinen Druckunterschieden. Bei großen Druckdifferenzen in der Welle ändert sich das Bild etwas. Verdünnungswellen verbreitern sich mit zunehmender Entfernung von der Erzeugungsstelle, Verdichtungswellen werden steiler und steiler, bis sie in einen Verdichtungsstoß ausarten.

Dieser Vorgang hat sich durch eine exakte Lösung näher verfolgen lassen.

Sie sehen in Figur 6 eine Strömung um einen Punkt herum dargestellt, bei der Ge-

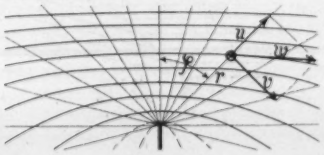


Fig. 6.

schwindigkeit und Druck längs eines jeden Radius konstant, also Funktionen des Winkels allein sind. Die Geschwindigkeitskomponente senkrecht zum Radius ergibt sich überall gleich der Schallgeschwindigkeit, so daß hier also das eine System der kleinen Schallwellen, von denen ich vorher sprach, einfach längs der Radien verläuft.[1]) Diese Eigenschaft erlaubt uns nun, aus Stücken dieses Strömungsbildes, die längs der Radien abgetrennt sind, beliebig neue

1) Die Rechnung hat sich für die allgemeine polytropische Zustandsänderung $pv^n = \text{const}$ durchführen lassen. Besonders einfach werden die Formeln für die Zustandsänderung nach der Gleichung $pv = \text{const}$. Man erhält

$$v = \sqrt{gpv} = a \text{ (konstant)},$$

$$u = a\varphi, \quad p = p_0 e^{-\frac{\varphi^2}{2}},$$

wo φ der Polarwinkel und p_0 der Druck in der Symmetrieebene ($\varphi = 0$) ist. Die Gleichung einer Stromlinie ergibt sich mit $r = r_0$ für $\varphi = 0$ $r = r_0 e^{+\frac{\varphi^2}{2}}$.

Strömungsbilder zusammenzusetzen, denn längs dieser Wellenlinien, der sogenannten Charakteristiken der hyperbolischen Differentialgleichung, dürfen die Differentialquotienten der Geschwindigkeit unstetig sein.

Ein Beispiel sehen Sie in Figur 7 dargestellt: die Fortpflanzung einer plötzlichen end-

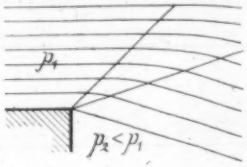


Fig. 7.

lichen Druckverminderung in einer geradlinig gleichförmigen Strömung, ein Fall, der bei der Strömung um eine stumpfe Ecke vorkommt, oder auch, wie in der Abbildung, wenn ein von einer geraden Wand begrenzter Strahl in einen freien Raum hinaustritt, wo ein geringerer Druck herrscht, als im Strahl. Das Gegenstück zu der plötzlichen Verdünnung, die plötzliche Verdichtung, sehen Sie in der Figur 8 darge-

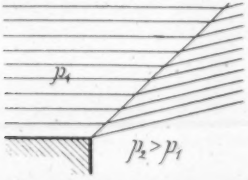


Fig. 8.

stellt. Hier tritt an Stelle unserer stetigen Lösung der Verdichtungsstoß, da, wie man durch nähere Diskussion erkennen kann, die stetige Lösung auf eine mehrfache Durchdringung der Strömung führen würde. Bei diesem schiefen Verdichtungsstoß gelten für die zur Stoßebene senkrechten Geschwindigkeitskomponenten ganz entsprechende Gleichungen, wie beim geraden Stoß. Die zur Stoßebene parallelen Komponenten bleiben beim Durchtritt durch sie unverändert. Ich bemerke hier, daß der schiefe Verdichtungsstoß, der einen geringeren Druckanstieg hervorbringt, wie der gerade, zuweilen auch im Innern der Düse auftritt.

Die letztbesprochenen zwei Vorgänge bilden die hauptsächlichsten Elemente der Wellen in freien Gasstrahlen, soweit die Bewegung, wie bei Düsen mit breit rechteckigem Querschnitt, als ebene Bewegung angesehen werden darf und die Düsen an der Mündung einfache scharfe Kanten aufweisen. Zur vollständigen Diskussion ist nur noch nötig, zu wissen, daß die Wellen an den Grenzen des freien Strahls eine Totalreflexion erfahren und zwar so, daß eine Verdichtungswelle als Verdünnungswelle reflektiert wird und umgekehrt.

In den Bildern hier, die ich vor 2 Jahren gezeichnet habe[1]), sehen Sie zwei der zu erwartenden Typen. Figur 9 stellt die Verhältnisse in einem Strahl dar, der mit größerer

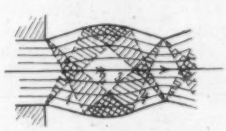


Fig. 9.

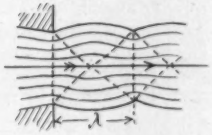


Fig. 10.

als Schallgeschwindigkeit, parallel strömend, die Mündung verläßt und in einen Raum gelangt, in dem geringerer Druck herrscht als in der Mündung. Wir finden da zwei sich kreuzende Expansionswellen, die nach der Reflexion als Kompressionswellen weiterziehen und nach abermaliger Reflexion das Spiel als Expansionswellen wieder von vorne beginnen. Die Strömung ist dabei in den nicht schraffierten Teilen ungefähr geradlinig und gleichförmig, in den schraffierten ungleichförmig und krummlinig. Figur 10 stellt den Zustand in einem Strahl dar, der aus einer verengten Mündung kommt und also im Mündungsquerschnitt gerade Schallgeschwindigkeit besitzt. Die Linien 1 und 4 in Figur 9 sind hier senkrecht zur Strahlrichtung geworden; es fallen daher hier die Grenzen der Expansions- und Kompressionsgebiete immer zu je zweien zusammen, so daß ein einfaches Kreuz entsteht.

Hiermit habe ich das über die Theorie zu Sagende erledigt und komme nun zu den Versuchen. Es handelt sich um photographische Aufnahmen der mit Schlierenbeleuchtung sichtbar gemachten Luftströmungen.

Die optische Aufstellung sehen Sie in Fig. 11;

Fig. 11.

es ist die bekannte Machsche Anordnung, deren Wesen in folgendem besteht: Mittels der Linsen L_1 und L_2 wird von dem Schirm S_1 genau in der Ebene von S_2 (Schlierenblende) ein Bild entworfen, so zwar, daß nur ein schmales Lichtbündel hindurchkommt. Gehen Lichtstrahlen bei A durch ein Medium hindurch, in

1) Diese Zeitschr. **5**, 599, 1904.

dem sie kleine Ablenkungen erfahren, so wird von diesen Strahlen an der zweiten Blende mehr bezw. weniger hindurchgelassen als bei den ungestörten Strahlen, wenn sie nach oben bezw. nach unten abgelenkt worden sind. Die Ablenkungen nun sind proportional dem Dichtigkeitsgefälle in dem störenden Medium, so daß also das Dichtigkeitsgefälle bezw. dessen Komponente senkrecht zur Blendenkante durch die Schwärzung auf dem Bilde zur Darstellung gelangt, das die Linse L_3 von dem Schlierenobjekt A auf der photographischen Platte P entwirft.

Das was man sieht, darf man sich als schräg beleuchtetes Modell der Dichtigkeitsverteilung und daher, soweit die Bewegung wirbelfrei ist, auch als Modell der Druckverteilung vorstellen, denn bei der schrägen Beleuchtung treten ja die Flächen je nach ihrem Gefälle in Richtung der Lichtstrahlen durch entsprechende Aufhellung und Verdunkelung hervor.

Je nachdem die Schlierenblende senkrecht zum Luftstrahl oder parallel dazu orientiert ist, erhält man die Dichtigkeitsunterschiede in der Strahlrichtung oder senkrecht dazu. Es entspricht dies einer Beleuchtung des Modells in der Strahlrichtung oder senkrecht zu ihr.

In den drei Wellenbildern, Fig. 12, 13, 14,

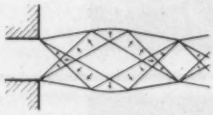


Fig. 12.

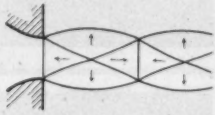


Fig. 13.

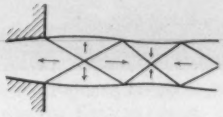


Fig. 14.

die einem expandierenden Parallelstrahl mit anfänglich Überschallgeschwindigkeit, einem solchen mit anfänglich Schallgeschwindigkeit, sowie einem divergenten Strahl entsprechen, sind durch Pfeile die Gradienten der Dichtigkeit angegeben, wie die Theorie verlangt, und wie wir sie werden bestätigt finden.

Die Lichtquelle war, wie ich nebenbei bemerken will, eine Reginulabogenlampe, die sich durch stark violettes Licht auszeichnet und daher zum Photographieren besonders geeignet ist.

Sämtliche Versuche sind mit atmosphärischer Luft gemacht. Zu ihrer Aufspeicherung diente ein Windkessel von 1,8 cbm Inhalt, der von einer Pumpe aus bis zu 10 Atmosphären mit Druckluft gefüllt werden kann. Die Luft strömte bei allen Versuchen direkt ins Freie.

Die Ausflußröhre mit Hahn und Düse sehen Sie in Fig. 15 dargestellt. Bei der Konstruk-

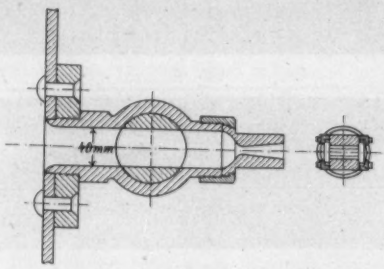


Fig. 15.

tion wurde besonders darauf geachtet, daß der Luftweg vom Kessel bis zur Düse kurz und gerade wurde und keine zur Wirbelbildung Anlaß gebenden toten Räume erhielt. Die Düsen (Ausflußmündungen) haben rechteckigen Querschnitt von konstanter Breite (30 mm) und veränderlicher Höhe (engste Stelle ca. 7,5 mm). Die Seitenwände wurden bei einer Anzahl von Versuchen durch planparallele Glasplatten gebildet, bei anderen durch einfache Metallplatten.

Die Aufnahmen[1]), die ich Ihnen jetzt vorführen werde, sind mit Belichtungen von $^1/_{30}$ bis $^1/_{15}$ Sekunde gewonnen, also gegenüber den ungemein schnellen Luftbewegungen als sehr lang dauernde Zeitaufnahmen anzusehen, die nur die vollständig stationären Vorgänge zur Erscheinung kommen lassen. Wenn Sie trotzdem ganz scharfgeschnittene Zeichnungen in den Luftstrahlen sehen, so beweist das, wie regelmäßig sich die von der Theorie geforderten Unstetigkeiten ausbilden.

Die zunächst zu zeigenden Aufnahmen (Fig. 16 bis 26) sind gemacht mit einer Düse von 7,5 mm engstem Querschnitt und geradflankiger Erweiterung auf 13,0 mm. Die Innenflächen sind mit einer groben Feile etwas aufgerauht, um die kleinen Schallwellen im Innern gut zur Erscheinung zu bringen. Diese haben sich denn auch sehr deutlich eingestellt.

In den Bildern sieht man links, den Strahl umgebend, die Metallteile der Düse (dunkel), rechts die ungestörte Luft (grau). In diese ragen hinein die weit vorstehenden Glasplatten, die dem Luftstrahl seitliche Führung geben, so daß seine Bewegung mit guter Annäherung als ebene Bewegung angesehen werden darf.

1) Von den über 40 Aufnahmen, die in Stuttgart gezeigt wurden, konnten im Druck nur die wichtigsten aufgenommen werden; deshalb hat auch der Text von hier ab eine Umarbeitung erfahren.

Fig. 16.

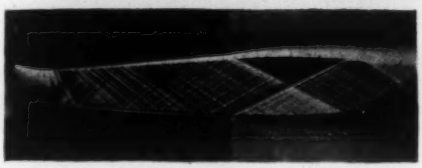


Fig. 17.

Fig. 16 zeigt den Luftstrahl bei einem absoluten Kesseldruck von $p_1 = 8{,}15$ kg/cm², aufgenommen mit senkrecht zur Strahlachse gestellter Schlierenblende, also Beleuchtung des Dichtigkeitsmodells (vgl. S. 27 oben) in der Achsenrichtung; es bedeutet hier Aufhellung des Bildes eine Expansion, Verdunkelung eine Kompression, also ist das Licht für das Modell von rechts kommend zu denken. Diese Beleuchtung mag in der Folge „Achsenbeleuchtung" heißen.

Fig. 18.

Bei Figur 17 und 18 ($p_1 = 8{,}45$ bezw. 5,8 kg/cm²) ist die Blende um 90° gedreht; bei dieser „Seitenbeleuchtung" hat man sich das Licht von oben kommend zu denken.

Man sieht an den Bildern deutlich, wie gleich hinter der engsten Stelle, wo die Schallgeschwindigkeit überschritten ist, die feinen Schallwellen beginnen und sich unter immer

Fig. 19.

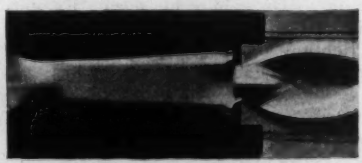


Fig. 20.

Fig. 21.

Fig. 22.

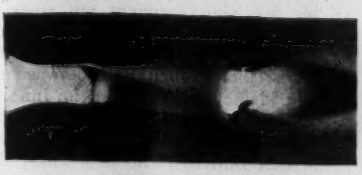


Fig. 23.

Fig. 24.

Fig. 25.

Fig. 26.

spitzeren Winkeln schneiden, je weiter man zum Düsenende vorgeht. Außerhalb sieht man in Fig. 16 und 17 deutlich die Wellen nach Fig. 14 sich ausbilden. Auf eine „pyramidenförmige" Depression folgt ein pyramidenförmiges Maximum der Dichte und des Druckes. Bei Fig. 18, wo der Druck an der Düsenmündung um ein Gutes kleiner ist als der Atmosphärendruck, finden wir erst zwei scharf geschnittene schiefe Verdichtungsstöße („Verdichtungskreuz"), die dann nach der Reflexion als Verdünnungswellen keilförmig auseinander laufen.

In Fig. 19 bis 26 finden wir dieselbe Düse mit der Abänderung, daß durch zwei verstellbare vor die Mündung geschraubte Metallplatten eine zweite enge Stelle geschaffen worden ist. Fig. 19 und 20, 21 und 22, 23 und 24, 25 und 26 zeigen je denselben Strömungszustand, wobei immer die ersteren (linke Reihe) in Achsenbeleuchtung, die letzteren (rechte Reihe) in Seitenbeleuchtung aufgenommen sind. Die Weite der zweiten Verengung bewegt sich von 6,6 mm (Fig. 19 und 20) über 7,7 mm und 8,0 mm bis 8,7 mm (Fig. 25 und 26). Die Drücke bewegen sich zwischen 7,5 und 6 kg/cm^2,

Während in Fig. 19 und 20 die zweite Verengung stärker ist als die erste und daher im Innern der Düse die Schallgeschwindigkeit überhaupt nicht erreicht wird (Fehlen jeglicher Unstetigkeit!), sieht man in den folgenden Bildern eine wachsende Strecke mit Überschallgeschwindigkeit, die in Fig. 21 und 22 mit einem deutlich ausgeprägten Verdichtungsstoß, in Fig. 25 und 26 mit einem verkümmerten Verdichtungskreuz und nachfolgenden Wellen abschließt. Aus den Figuren 19, 21, 23, 25 kann man leicht den ungefähren Druckverlauf ablesen, er dürfte annähernd mit den Linien *C*, *E*, *G* und *H* der Fig. 2 übereinstimmen.

In sämtlichen Figuren mit Seitenbeleuchtung, am auffälligsten in Fig. 20, zeigt sich an der engsten Stelle eine eigentümliche Abschattierung; es ist dies nichts anderes als die durch die Zentrifugalwirkung der äußeren, gekrümmten Stromfäden geschaffene Druckdifferenz quer zur Strömungsrichtung.

Eine praktisch wichtige Beobachtung ist noch die folgende: in Fig. 20, 22, 24 und 26 sieht man im langgestreckten Teil der Düse eine merkwürdige Profilierung. Druckdifferenzen können dies nicht sein, denn diese können sich ohne Krümmung der Stromfäden nicht aufrecht erhalten. Die Erklärung ist die: bei dem mehr oder minder plötzlichen Druckanstieg löst sich der Strahl auf eine kurze Strecke von der Wand ab und erzeugt dort heftige Wirbelungen. Die Wirbel werden, während sie sich weiter bewegen, allmählich durch innere Reibung aufgezehrt und erwärmen so das Gas. Was wir sehen, sind also Wirbelstraßen, in denen das Gas durch Reibungswärme verdünnt ist. Bei Fig. 20 sind die Wirbel noch auf schmale Randpartien beschränkt, bei Fig. 26 dagegen bedecken sie bereits den ganzen Strom. Eine ganz schmale Wirbelstraße ist übrigens auch schon in Fig. 17 und 18 zu sehen.

Schließlich mag noch auf eins aufmerksam gemacht werden. Wo in den Figuren 16 bis 26 Überschallgeschwindigkeit gefunden wird, da schneiden sich, wie es die Theorie fordert, unabhängig vom Druck und sonstigen Umständen an der gleichen Stelle der Düse immer die gleichen Wellchen in genau der gleichen Weise.

Ich komme jetzt zu Aufnahmen mit einer andern Düse und werde mich hier kürzer fassen. Mit Hilfe dieser Düse, die eine Weite von 7,6 mm an der engsten Stelle und 11,4 mm an der Mündung hat und so entworfen ist, daß sie den Strahl an der Mündung mit ziemlich genau parallelen Stromfäden entläßt, sind die Figuren 27 bis 34 erhalten worden. In Fig. 27, 28, 29 sieht man in Achsenbeleuchtung das Innere der Düse und den Strahl, der hier wieder seitlich zwischen zwei Glasplatten geführt ist. In Fig. 27 ($p_1 = 8$ kg/cm^2) sieht man den Typus der Figuren 9 und 12 verwirklicht, Fig. 28 (6 kg/cm^2) zeigt angenähert den Parallelstrahl mit Wellen von kleiner Amplitude, während in Fig. 29 (5 kg/cm^2) der Wellenform der Fig. 12

Fig. 27.

Fig. 28.

Fig. 29.

ein scharfes Verdichtungskreuz vorausgeht. Ganz entsprechende Wellenbilder zeigen sich in den mit Seitenbeleuchtung aufgenommenen Bildern Fig. 30 bis 34; bei diesen sind allerdings die

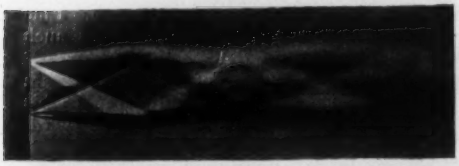


Fig. 30.

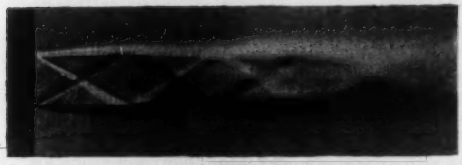


Fig. 31.

Fig. 32.

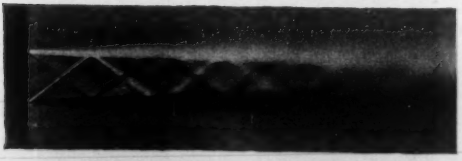


Fig. 33.

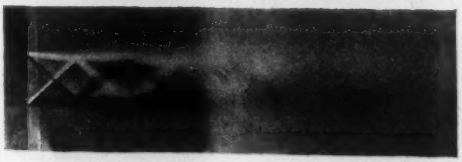


Fig. 34.

überstehenden Glasplatten entfernt und daher die Luftstrahlen auch nach der Seite hin frei, so daß also hier die Bewegung nicht mehr eigentlich als eine ebene Bewegung zu betrachten ist; trotzdem weichen die Bilder nicht sehr von den bisherigen ab. Bei den Aufnahmen

Fig.	30	31	32	33	34 war
$p_1 =$	8,4	7,2	5,95	5,2	4,3 kg/cm^2

Bei weiter sinkendem Druck werden die Wellen immer verschwommener, das Verdichtungskreuz wird immer niedriger und kriecht zuletzt in die Düse hinein, wo es allmählich Formen wie in Fig. 26 annimmt und schließlich in einen Verdichtungsstoß übergeht.

Um zum Schluß auch für die Wellenform der Fig. 10 und 13 ein Beispiel zu bringen, sei in Fig. 35 eine Aufnahme vorgeführt, die

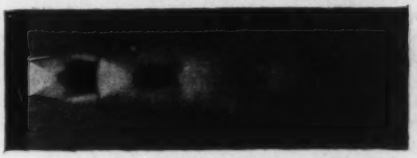


Fig. 35.

mit einer nicht erweiterten Düse mit parallelen Wänden gewonnen worden ist. Die Beleuchtung ist in der Achsrichtung genommen, der Druck war $p_1 = 3{,}75$ kg/cm^2. Die Vierfelderteilung ist deutlich darauf zu erkennen.

Wir beabsichtigen, die Versuche in Göttingen weiter fortzuführen und besonders nach folgenden Richtungen zu vervollständigen: Einmal sollen noch andere Kanalformen, insbesondere auch Turbinenschaufeln untersucht werden, dann sollen auch quantitative Dichtigkeitsmessungen versucht werden; endlich sollen durch Beleuchtung mit elektrischen Funken auch die nichtstationären Vorgänge sichtbar gemacht werden. Es steht zu hoffen, daß hierdurch noch mancher interessante Aufschluß über das vor kurzem noch rätselhafte Gebiet gewonnen werden wird.

(Eingegangen 19. Oktober 1906.)

M. Wien (Danzig) und J. Zenneck (Braunschweig), Spektralaufnahmen mit Teleobjektiv.

Die Kleinigkeit, über die ich Ihnen zusammen mit Herrn M. Wien berichten möchte, ist in erster Linie für diejenigen bestimmt, denen ein System bedeutender Dispersion nicht zur Verfügung steht. Kommt man unter diesen Umständen in die Lage, eine photographische Spektralaufnahme z. B. mit einem einfachen Prisma machen zu müssen, so ergibt sich eine Schwierigkeit. Auch dann, wenn das Prisma zwei Linien auflöst, erscheinen sie auf der Platte nicht notwendig getrennt. Sie sind nur dann getrennt, wenn ihr Abstand auf der Platte einen gewissen Minimalbetrag übersteigt, dessen Größe in erster Linie von der Plattensorte abhängt. Ist ihr Abstand kleiner, so fließen sie zusammen.

Fig. 2b.

Auf die Gründe dieser Erscheinung will ich nicht eingehen, die Folge derselben ist, daß — wenn ich so sagen darf — das Auflösungsvermögen des photographierten Spektrums geringer ist als das Auflösungsvermögen des Prismas.

Diese Reduktion des Auflösungsvermögens durch die Photographie ist, wie aus dem Gesagten sich ergibt, um so geringer, je größer das Bild des Spektrums auf der Platte, je größer also die Brennweite des Objektivs ist, mit dem man das Spektrum aufnimmt. Photographische Objektive, wie man sie für physikalische Zwecke verwendet, haben wohl meist eine Brennweite, die sich von 25 cm nicht weit entfernt. Will man das Bild nur viermal größer haben, als man es mit einem solchen Objektiv unmittelbar bekommt — nachherige Vergrößerung ist natürlich zwecklos —, so hätte man mit einem Objektiv von 1 m Brennweite und einem Balg von mindestens 1 m Auszugslänge zu arbeiten. Der hohe Preis eines guten Objektivs dieser Brennweite und die große Empfindlichkeit der ganzen Aufstellung gegen Erschütterungen wird dieses Verfahren meist verbieten.

Günstiger ist für die Aufnahme ein sogenanntes Teleobjektiv zu verwenden, d. h. praktisch gesprochen, zu dem schon vorhandenen Institutsobjektiv ein Telenegativ hinzuzukaufen. Die Kosten betragen zwischen 40 und 100 M., und mit einer einigermaßen stabilen Kamera von ganz mäßiger Auszugslänge läßt sich leicht ein fünf- bis achtmal größeres Bild erzielen, als es das Objektiv allein liefert.

Die Vorteile, die man damit bei Spektralaufnahmen erzielt, mögen folgende Beispiele[1]) zeigen, bei denen ein einfaches Flintglasprisma von etwa 6 cm Basislänge zur Verwendung kam.

1. Die beiden *Na*-Linien.
   a) Aufnahme mit gewöhnlichem Objektiv, beide Linien nicht getrennt. (Fig. 1a.)

Fig. 1a.

   b) Aufnahme mit Teleobjektiv, beide Linien sehr scharf getrennt. (Fig. 1b.)

Fig. 1b.

2. Stickstoffspektrum.
   a) Aufnahme mit gewöhnlichem Objektiv: in den Banden fast nirgends irgendwelche Einzelheiten erkennbar.

Fig. 2a.

   b) Aufnahme mit Teleobjektiv: die „Banden" in sehr feine Linien[1]) aufgelöst.

1) Für die Anfertigung der Aufnahmen sind wir Herrn Dr. Strasser zu Dank verpflichtet.

1) Anmerkung bei der Korrektur: Von diesen feinen Linien ist leider in der Reproduktion der Figuren nichts zu sehen.

(Eingegangen 9. Oktober 1906.)

Diskussion.

Goldstein: Ich möchte den Vortragenden um Auskunft bitten, aus welcher Fabrik das als gewöhnliches Objektiv bezeichnete Glas stammt?

Vortragender: Es ist ein Busch-Objektiv, Omnar Serie III mit 25 cm Brennweite und dem Öffnungsverhältnis von $\frac{f}{7{,}7}$. Es kostet ca. 139 Mark.

BESPRECHUNGEN.

W. Müller, Instrumentenkunde für Forschungsreisende. 8°. VIII u. 200 S. Mit 134 Abb. Hannover, Dr. M. Jänecke. 1906. 4,40 M., geb. 5,20 M.

Das vorliegende Schriftchen ist als Ergänzung zu der kürzlich in 3. Auflage erschienenen, von G. von Neumayer herausgegebenen „Anleitung zu wissenschaftlichen Beobachtungen auf Reisen" gedacht. Es bringt zunächst eine allgemeine Besprechung der Instrumente und ihrer Anwendungen, deren Behandlung zwar recht klar gehalten ist, aber zuweilen eine gewisse Ungleichmäßigkeit aufweist. Insbesondere hätten Beispiele und Schemata fortbleiben können. Der 2. Abschnitt gibt eine Übersicht derjenigen Instrumente, die von größeren Expeditionen mitgeführt wurden. Hieran schließt sich eine systematische Aufzählung der wichtigsten Instrumententypen mit kurzer Beschreibung und Angabe des Preises sowie der Werkstätte. Eine im Anhang gegebene Sammlung guter Abbildungen trägt zur Erläuterung dieses Abschnittes wesentlich bei. Im 4. Teil findet man die Adressen der aufgeführten Firmen, ihre Telegrammschlüssel und Lieferungsbedingungen, ferner eine sehr ausführliche Tabelle zur Frachtkostenberechnung und die hauptsächlichsten Dampferverbindungen. Als Anhang ist ein Abschnitt über drahtlose Telegraphie nach dem System Telefunken aufgenommen. Ob dieses Kapitel noch in den Rahmen des Buches gehört, ließe sich bezweifeln. Über kleine Mängel kann man um so eher hinwegsehen, als ein Werk dieser Art eine bisher bestehende Lücke ausfüllt. Dem Buche können daher die besten Empfehlungen auf den Weg gegeben werden, es wird zur raschen Orientierung gute Dienste leisten.

E. Przybyllok.

(Eingegangen 5. November 1906.)

Meteorologische Zeitschrift. Hannband zum vierzigjährigen Redaktionsjubiläum J. Hanns von Freunden und Kollegen gewidmet. Redigiert von J. M. Pernter und G. Hellmann. Mit Bild und Faksimile von J. Hann, 76 Textfiguren u. 5 Tafeln. gr. 8°. VIII u. 404 S. Braunschweig, F. Vieweg & Sohn. 1906. 20 M.

Seit 1866 führt Julius Hann die Redaktion der Meteorologischen Zeitschrift, die früher unter dem Titel: Zeitschrift der österreichischen Gesellschaft für Meteorologie erschien. Seiner Tätigkeit ist es zu verdanken, daß diese Zeitschrift heute an erster Stelle unter allen anderen meteorologischen Fachblättern steht. Die vorliegende Festschrift legt beredtes Zeugnis ab für die allseitige Verehrung, die der Altmeister der Meteorologie genießt. Zum Inhalte haben die hervorragendsten Autoren beigetragen; auf die einzelnen Arbeiten kann hier nicht näher eingegangen werden, doch sei auf diese wertvolle Bereicherung der meteorologischen Literatur hier nachdrücklich hingewiesen.

E. Przybyllok.

(Eingegangen 5. November 1906.)

Briefkasten.

Herr K. E. F. Schmidt schreibt in dieser Zeitschr. **7**, 642, 1906, daß kaum in der Literatur etwas über Barrettermessungen bekannt gegeben ist. Im Interesse der Leser erlaube ich mir, auf meinen Artikel in Electrical World vom 30. Juni 1906, S. 1341—1343: „Measurement of Feeble High-Frequency Currents" hinzuweisen, wo ich ganz ausführlich über Barrettermessungen geschrieben habe und nicht nur die Stromstärke, sondern die Spannung und mit Hilfe der Dreibarrettermessungen auch die Phasenverschiebung bei Telephonströmen untersucht habe.

Béla Gáti, Telephoningenieur.

Tagesereignisse.

Wie die Historische Kommission der Bayerischen Akademie der Wissenschaften bekannt gibt, hofft Professor Gerland in Klausthal bis Ostern 1909 die in ihrem Auftrag bearbeitete Geschichte der Physik druckfertig vorlegen zu können.

Personalien.

(Die Herausgeber bitten die Herren Fachgenossen, der Redaktion von eintretenden Änderungen möglichst bald Mitteilung zu machen.)

Ernannt: Der a. o. Professor der Physik an der technischen Hochschule in Brünn Dr. W. Nowak zum ord. Professor an derselben Hochschule.

Dem Astronomen im Reichsmarineamt Dr. Ernst Kohlschütter und dem Abteilungsvorstand bei der deutschen Seewarte Dr. Gerhard Schott ist der Titel Professor verliehen worden.

Gestorben: Der a. o. Professor der Chemie an der Universität München Dr. Wilhelm Königs.

Gesuche.

Drahtlose Telegraphie.

Zu Versuchen am Poulsen-System und ständigen Bearbeitung von Neuerungen wird ein

jüngerer Physiker,

der wissenschaftliche Initiative besitzt und gewohnt ist, selbständig zu arbeiten, **gesucht.** Energische und strebsame Bewerber belieben Zuschriften mit Gehaltsansprüchen etc. einzusenden an **Physikalisch-Technisches Laboratorium, Dr. G. Seibt, Berlin,** Mathieustraße 13.

Für die Redaktion verantwortlich Professor Dr. Emil Bose in Oliva bei Danzig. — Verlag von S. Hirzel in Leipzig.
Druck von August Pries in Leipzig.